



Tuomas Piironen

Sijaintiin perustuva liikkuvan kaluston pyörän laipan voitelu

Tuomas Piironen

Sijaintiin perustuva liikkuvan kaluston pyörän laipan voitelu

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 3/2010

Liikennevirasto
Helsinki 2010

Kannen kuvat: Simo Toikkanen ja Markku Nummelin

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-503-8

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelinvaihte 020 637 373

Piiroinen, Tuomas: Sijaintiin perustuva liikkuvan kaluston pyörän laipan voitelu. Liikennevirasto, rautatieosasto. Helsinki 2010. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 3/2010. 102 sivua ja 1 liite. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-503-8.

Asiasanat: laipanvoitelulaite, voitelu, satelliittipaikannus, laippa, kisko, pyörä, rautatie

TIIVISTELMÄ

Tämä työ on selvitys sijaintiin perustuvan laipanvoitelulaitteen ohjauksen vaikutuksista junaradan kaarteiden ja vaihteiden kulumiseen sekä turvallisuuteen. Pyörän laippa osuu kiskoon jyrkissä kaarteissa ja vaihteissa. Laipanvoitelulaite sumuttaa voiteluainetta veturin etummaisen pyöräkerran pyörien laipoille ja vähentää siten pyörän ja kiskon kulumista.

Työssä sijaintiin perustuvaa ohjausta verrataan nykyisin käytössä oleviin ohjausmenetelmiin. Näissä laipanvoitelulaite sumuttaa voiteluainetta laipalle tasaisen matkan tai ajan välein. Ohjaukseen voidaan käyttää myös kaarreanturia. Matka- tai aikaperusteinen laipanvoitelulaite sumuttaa voiteluainetta myös suorilla osuuksilla, jolloin voiteluainetta kertyy laipalle liian paksu kerros. Tällöin voiteluainetta linkoutuu junan pohjaan ja kylkiin. Kaarreanturin ongelma on voitelun aloituksen myöhästyminen.

Työssä käydään lyhyesti läpi rautatieympäristössä mahdollisia paikannusmenetelmiä. Näistä valitaan tarkempaan tarkasteluun toiminnaltaan hyvin tunnettu satelliittipaikannus. Satelliittipaikannus tarjoaa mahdollisuuden junan tarkkaan paikannukseen, mutta siihen perustuva paikannusjärjestelmä vaatii muidenkin antureiden käyttöä, jotta sijainti pysyy selvillä myös, kun näkymä satelliitteihin katoaa.

Laipanvoitelulaitteen ohjaamiseen tarvitaan paikannusjärjestelmän lisäksi paikkatietoaineisto, josta selviävät voideltavien kohteiden sijainnit ja kaarresäteet. Selvityksessä tutustutaan mahdollisiin aineistoihin ja tutkitaan niiden käyttökelpoisuutta laipanvoitelulaitteen ohjauksen kannalta. Liikennevirastolla ei ole hallussaan suoraan sopivaa aineistoa, mutta sellaisen työstäminen olemassaolevista aineistoista on melko helppoa. Satelliittipaikannusohjatun voitelun etu on, että voitelua voidaan suorittaa vain sitä tarvittaessa. Näin voidaan käyttää isompia voiteluannoksia ja saavuttaa tätä kautta kulumisen pienentymistä pyörä-kisko-kontaktissa. Tutkimuksessa ei löydetty vastausta siihen, kuinka paljon voiteluainetta laipalle voi sumuttaa ilman, että se aiheuttaa ongelmia kulkeutumalla kiskon selän ja pyörän kulkukehän väliin tai linkoutumalla laipalta junan alustaan.

Kirjallisuuden perusteella ei pystytä antamaan tarkkaa arviota siitä, kuinka paljon sijaintiin perustuvan voitelun avulla voidaan saavuttaa säästöä kiskon kulumisessa ja siitä aiheutuissa kustannuksissa. Voidaan kuitenkin todeta, että suurentunut voiteluaineen määrä vähentää kulumista huomattavasti. Tutkimuksessa ei myöskään löydetty tilastoja kiskojen sivukuluneisuuden aiheuttamista kustannuksista, joten potentiaaliset säästöt jäävät siltäkin osin selvittämättä. Konkreettisten tulosten saavuttamiseksi olisi suoritettava käytännön mittauksia.

Piironen, Tuomas: Smörjning av hjulfläns på basis av positionsbestämning. Trafikverket, järnvägsavdelningen. Helsingfors 2010. Trafikverkets undersökningar och utredningar 3/2010. 102 sidor och 1 bilaga. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-503-8.

Nyckelord: flänssmörjningsutrustning, smörjning, satellitpositionering, fläns, räls, hjul, järnväg

SAMMANDRAG

Föreliggande arbete utreder effekterna av positionsbaserad styrning av flänssmörjningsutrustning på säkerhet och slitage i kurvor och vid växlar. I kurvor och vid växlar uppstår friktion mellan rälsen och hjulflänsen. Flänssmörjningsutrustningen sprayar smörjmedel på de främsta hjulens flänsar och minskar därigenom slitaget på både hjul och räls.

I föreliggande text jämförs positionsbaserad styrning med de styrningsmetoder som idag är i bruk. De sistnämnda applicerar smörjmedlet på flänsen med jämna mellanrum på basis av tid eller färdavstånd. Styrningen kan även ske med en kurvdetektor. Smörjningsdon som fungerar enligt färdavstånd eller tid sprutar smörjmedel även på raka sträckor, varvid ett alltför tjockt lager smörjmedel samlas på flänsen. Följden är att smörjmedlet slungas på vagnarnas underrede och sidor. Problemet med kurvdetektorn är att smörjningen inleds alltför sent.

Detta arbete tar i korthet upp potentiella positioneringsmetoder i järnvägsmiljö. Satellitpositionering är en välkänd metod som granskas närmare i detta arbete. Med hjälp av satellitpositionering kan tåget lokaliseras noggrant, men systemet det grundar sig på kräver ytterligare sensorer för att garantera funktionen då sikten till satelliten är skymd.

Utöver positioneringssystemet kräver styrningen av smörjningsutrustningen lokal detaljinformation som anger exakt position och kurvans radie där smörjning krävs. Arbetet omfattar en studie i olika slag av informativt material som kan visa sig betydelsefullt med tanke på styrningen av smörjningsapparater. Trafikverket har inte direkt någon lämplig dokumentation, men befintligt material kan förhållandevis lätt användas för ändamålet.

Fördelen med GPS-styrd smörjning är att smörjmedlet kan appliceras exakt där det behövs. Man kan härvid applicera större doser och därigenom minska på hjulens och rälsens slitage. Utredningen inom ramen för detta arbete har inte kommit fram till hur stor volym smörjmedel som kan appliceras utan att problem uppstår då smörjmedlet kommer in mellan räls huvudet och hjulet eller slungas på tågets underrede.

På basis av den befintliga litteraturen är det inte möjligt att bedöma hur stora besparingar man med ett positioneringsstyrt smörjningssystem kan åstadkomma avseende slitage på rälsen. Däremot kan vi konstatera att större mängder smörjmedel minskar slitaget i betydande grad. Utredningen lyckades inte heller uppdaga någon statistik på de kostnader som uppstår genom rälsens sidoslitage och därigenom kunde inte heller potentiella besparingar kartläggas. För att nå konkreta resultat krävs fysiska mätningar.

Piironen, Tuomas: Location-based wheel flange lubrication. Finnish Transport Agency, Railway Department. Helsinki 2010. Research reports of the Finnish Transport Agency 3/2010. 102 pages and 1 appendix. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-503-8.

Keywords: railway, wheel flange lubrication, GNSS, rail, satellite

SUMMARY

This research examines the location-based control of a locomotive's wheel flange lubricator, especially its effects on rail wear at curves and switches as well as on safety. The aim is to assess the capacity of the Finnish Rail Administration to actualise this kind of system and its viability.

A wheel flange lubricator sprays lubricant on the wheel flange which comes into contact with the rail at curves, consequently decreasing the wear rate. Nowadays time-, distance- and curve sensor-based control methods are commonly used in lubricators. A time- and distance-based lubricator also lubricates tangent tracks where no contact usually occurs between the wheel and the rail. Therefore the accumulated residual lubricant is thrown off onto the underfloor and sides of the train. A curve sensor-based control is a method that has been developed further. Its problem is that it does not detect a curve in advance and begins thus to lubricate too late.

In this thesis the suitability of the Global Navigation Satellite System (GNSS) to control a wheel flange lubricator is researched. GNSS offers a possibility to locate a train accurately. Nevertheless, a positioning system also requires other sensors to sustain a data of location at those times when a connection to satellites is not available.

In addition to GNSS, a geographic dataset is needed to give information of targets that need to be lubricated and the curve radius of each target. Databases which are already available are studied in this thesis to find out if they are applicable concerning the control of wheel flange lubricator. Finnish Transport Agency does not directly have such a database available, but there is material to create one.

An advantage of satellite positioning is that lubrication can be applied only when needed. This enables a usage of bigger doses and thereby the reduction of wheel and rail wear. The advance achieved with satellite positioning especially at switches reduces the wear.

It would be possible to actualise a location-based control of a wheel flange lubricator. In this investigation, the amount of lubricant that can be sprayed on a wheel flange before the lubricant drifts to the rail head was not ascertained. Hence it is not possible to estimate how much the rail wear could be reduced with location-based lubrication. It can be pointed out, however, that a bigger dose of lubricant distinctly reduces wear. To achieve concrete results practical measurements should be carried out.

ESIPUHE

Tämän diplomityön on tehnyt tekniikan ylioppilas Tuomas Piironen Teknillisen korkeakoulun Koneenrakennustekniikan laitoksella Auto- ja työkonetekniikan tutkimusryhmässä.

Työn valvojana on toiminut professori Matti Juhala sekä ohjaajina Liikenneviraston rautatieosaston ylitarkastaja Seppo Mäkitupa ja Teknillisen korkeakoulun yli-insinööri Panu Sainio.

Helsingissä, maaliskuussa 2010

Liikennevirasto
Rautatieosasto

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
SAMMANDRAG	4
SUMMARY	5
ESIPUHE.....	6
TYÖSSÄ KÄYTETTYJÄ LYHENTEITÄ.....	10
1 JOHDANTO	11
1.1 Tutkimuksen tausta.....	11
1.2 Tutkimuksen tavoite	12
1.3 Tutkimuksen menetelmät	12
2 KISKOLIIKENTEEN PERUSKÄSITTEITÄ.....	14
2.1 Kiskot.....	15
2.2 Pyörät.....	16
2.3 Telit	17
2.4 Vaihteet	19
3 KULKUDYNAMIIKKA JA SEN VAIKUTUS KULUMISEEN.....	21
3.1 Pyörien sijainti kiskoilla	21
3.2 Pyöräkerran ohjautuminen	22
3.2.1 Kulku suoralla.....	22
3.2.2 Kulku jyrkässä kaarteessa.....	24
3.3 Raiteiden vaakageometria ja sen vaikutus laippakosketukseen	27
3.3.1 Kaarteet	28
3.3.2 Raiteen kallistus	28
3.4 Kiskojen ja pyörien kuluminen.....	29
3.4.1 Kiskojen kuluminen.....	29
3.4.2 Pyörien kuluminen.....	30
3.4.3 Vaihteiden kuluminen.....	31
4 LAIPPAKONTAKTIN VOITELU	32
4.1 Historia	32
4.2 Missä voitelua tarvitaan	33
4.3 Kisko-pyöräkosketuksen tribologiaa	33
4.4 Laipanvoitelulaitteissa käytettävät voiteluaineet	35
4.5 Voitelun hyödyt.....	36
4.5.1 Voitelun vaikutusten mittaaminen	37
4.5.2 Kenttätutkimuksia voitelun vaikutuksesta kiskon kulumaan.....	39
4.5.3 Tutkimuksia voitelun vaikutuksesta pyörien kulumaan.....	43
4.5.4 Voitelun vaikutus energiankulutukseen	43
4.5.5 Voitelun vaikutus kaarremeluun	44
4.6 Kulkureunan kitkakertoimen mittaaminen ja tavoitearvot.....	44
4.7 Voitelun toimivuuden varmistaminen	45
4.8 Voitelun ongelmat ja vaikutukset turvallisuuteen.....	46

5	KÄYTÖSSÄ OLEVAT VOITELUMENETELMÄT	48
5.1	Kiinteästi rataan asennettavat voitelulaitteet.....	48
5.2	Voiteluajoneuvo	50
5.3	Liikkuvaan kalustoon kiinnitetyt voitelulaitteet	50
5.3.1	Laippaa vasten painettava voitelutikku	51
5.3.2	Voiteluainetta sumuttava laipanvoitelulaite	52
6	RAUTATIEYMPÄRISTÖSSÄ TAPAHTUVA PAIKANNUS	57
6.1	Vaihtoehtoisia paikannustapoja	57
6.1.1	Baliisit	57
6.1.2	Cubal	58
6.1.3	Satelliittipaikannus	59
6.2	Yleistä satelliittipaikannuksesta.....	60
6.3	GPS-teknologian perusteet.....	60
6.3.1	Absoluuttinen paikannus.....	62
6.3.2	Differentiaalipaikannus	63
6.3.3	Suhteellinen paikannus	63
6.4	Korjaustiedon tarjonta Suomessa	63
6.4.1	Fokus-palvelu	64
6.4.2	RTK-VRS verkko	64
6.4.3	Liikenneviraston DGNSS-palvelu	64
6.5	Satelliittipaikannuksen soveltuvuus rautatieympäristöön.....	65
6.6	Paikannustarkkuuden vaatimuksista	66
6.7	Raiteen tarkkuudella paikantamiseen vaadittavat menetelmät	67
6.7.1	Takometri ja kiihtyvyyssanturi	68
6.7.2	Gyroskooppi ja rotaatioanturit.....	68
6.7.3	Map matching.....	68
6.8	Kulunvalvontaan suunniteltuja paikannusjärjestelmiä	69
7	SATELLIITTIPAIKANNUSOHJATTU LAIPANVOITELU	71
7.1	Laipanvoitelulaitteen ohjaukseen vaadittava paikannusteknologia	71
7.2	Kaksisuuntaisen tietoliikenneyhteyden etuja	72
7.3	Voitelun ohjauksessa tarvittava paikkatietoaineisto	73
7.3.1	Geometriarekisteri.....	74
7.3.2	Maanmittauslaitoksen maastotietokanta.....	75
7.3.3	Radantarkastuspalveluiden aineisto	75
7.3.4	Paikkatietoaineistojen soveltuvuuden vertailua	76
7.3.5	Aineiston hallinta ja omistus	77
7.4	Vaatimukset voitelulaitteelle.....	77
7.5	Voitelulaitteen ohjaus.....	78
7.5.1	Voitelu suoralla radalla	80
7.5.2	Voitelu kaarteissa	80
7.5.3	Voitelu vaihteissa.....	81
7.5.4	Voitelu ratapihoilla	85
8	SATELLIITTIPAIKANNUSPOHJAISEN VOITELUN HYÖDYT	86
8.1	Satelliitti- ja kaarreanturipohjaisen voitelun erot	86
8.1.1	Toimintaerot kaarteissa.....	86
8.1.2	Toimintaerot vaihteissa	87
8.1.3	Muita toimintaeroja	87
8.2	Taloudelliset hyödyt.....	88
8.2.1	Hyödyt rataverkon kannalta.....	88

8.2.2	Hyödyt operaattoreille	89
8.2.3	Hyödyt ympäristön kannalta	90
8.2.4	Muita mahdollisia hyötyjä.....	90
9	JATKOSELVITYKSET	91
9.1	Voiteluaineen käyttäytyminen	91
9.2	Kitkan seuranta.....	91
9.3	Paikannus.....	92
10	YHTEENVETO	93
	LÄHDELUETTELO	95

LIITTEET

Liite 1	Voitelukalvon paksuuden mittaaminen teipin avulla
---------	---

TYÖSSÄ KÄYTETTYJÄ LYHENTEITÄ

DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System)

Vastaava menetelmä kuin DGPS, mutta nimitystä käytetään korostamaan, että järjestelmällä voidaan välittää muidenkin satelliittipaikannusjärjestelmien korjaustietoa kuin GPS:n.

DGPS (Differential Global Positioning System)

Satelliittipaikannuksen tarkkuuden parantamiseen tarkoitettu menetelmä, jossa käytetään hyväksi sijainniltaan tunnettujen tukiasemien mittaamia tietoja ja niistä laskettuja virheitä.

DOP (Dillution Of Precision)

Luku, joka kuvaa satelliittien geometrisesta sijoittumisesta aiheutuvaa virhettä.

ETCS (European Train Control System)

Eurooppalainen junien automaattisen kulunvalvonnan standardi.

JKV

Suomessa käytössä oleva junien automaattinen kulunvalvontajärjestelmä.

Navstar GPS (Global Positioning System)

Yhdysvaltojen puolustusministeriön hallinnoima satelliittipaikannusjärjestelmä. Järjestelmää kutsutaan yleisesti pelkästään nimellä GPS.

NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol)

Protokolla, joka mahdollistaa satelliittipaikannuksen korjaustietojen välittämisen internet-yhteyden kautta.

RCF (Rolling Contact Fatigue)

Vierintäkosketusväsyminen, jota tapahtuu kiskoissa ja pyörissä.

RTCM (The Radio Technical Commission for Maritime Services)

Kansainvälinen standardisointiorganisaatio, jonka yhtä standardia käytetään yleisesti satelliittipaikannuksen korjaustietojen välittämiseen.

RTK VRS (Real Time Kinematic Virtual Reference Station)

Menetelmä, jossa mittausta suorittavan satelliittipaikannuslaitteen viereen lasketaan virtuaalitukiasema käyttämällä useamman olemassa olevan, kauempana sijaitsevan tukiaseman tietoja. Näin voidaan suorittaa reaaliaikaisia, tarkkoja mittauksia laajalla alueella.

WGS84-koordinaatisto (World Geodetic System 84)

Kolmiulotteinen koordinaatisto, jonka origo on maan massakeskipisteessä. Käytetään amerikkalaisessa GPS-satelliittipaikannusjärjestelmässä.

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Kiskojen, vaihteiden ja pyörien kulumisen aiheuttaa suuria taloudellisia rasitteita rautatieliikenteelle materiaali- ja työvoimakuluina sekä huollon vuoksi menetettyinä tuotantotunteina. Yksi merkittävä kulumiseen johtava tekijä on pyörän laipan ja kiskon välinen kontakti, jossa kiskon kulkureuna ja pyörän laippa kuluvat. Pyörän laipan paksuuden ohennuttua alle säädettyjen arvojen joudutaan pyöräkerta sorvaamaan tai pyörät vaihtamaan. Kiskon kulkureunan liiallinen kuluma taas johtaa kiskon vaihtotarpeeseen.

Kiskojen kulkureunan ja pyörien laippojen kulumista pyritään vähentämään voitelemalla niiden välistä kontaktipintaa. Voitelu voidaan suorittaa rataa kiinnitetyillä kiinteillä voitelulaitteilla, erillisillä voiteluajoneuvoilla tai kalustoon kiinnitetyillä, mukana kulkevilla voitelulaitteilla. Junien kulkudynamiikka on suunniteltu siten, että pyörän laippa olisi kosketuksessa kiskoon vain vaihteissa ja jyrkissä kaarteissa, joten voitelua tarvitaan nimenomaan näille alueille.

Kalustoon kiinnitetyissä voitelulaitteissa voiteluaine yleensä sumutetaan ilman ja voiteluaineen seoksena laipan juureen, josta voiteluaine kulkeutuu kiskolle ja siitä taemmille pyörille. Toinen kalustossa mukana kulkeva laipanvoitelumenetelmä on kiinteästä voiteluaineesta valmistettu tikku, joka hankautuu laipan juureen jättäen siihen ohuen voitelevan kerroksen. Suomessa laipanvoitelulaitteiden käytöstä on jo monen vuosikymmenen kokemus. VR-yhtymän vetureissa ja matkustajajunissa on tällä hetkellä käytössä useiden eri valmistajien laitteita. Käytössä on sekä öljyn ja rasvan sumutukseen perustuvia laitteita että voitelutikkuja.

Laipanvoitelulaitteet eivät sumuta voiteluainetta jatkuvasti, vaan muutama sekunti kerrallaan. Tällä hetkellä Suomessa käytössä olevien laipanvoitelulaitteiden ohjaukseen käytetään aika- ja matkaperusteista ohjausta. Laipanvoitelulaitteet suihkauttaa näin ollen halutun määrän voiteluainetta aina tasaisen matkan tai ajan välein. Markkinoilla on myös voitelulaitteita, joiden ohjaukseen käytetään apuna kaarteiden tunnistavaa anturia. Kaarreohjatut voitelulaitteet pyrkivät aistimaan, milloin juna on kaarteessa ja voitelemaan tällöin pyörien laippoja. Lisäksi ne voivat ohjata voiteluaineen sumutuksen ulkokaarteiden puoleisille pyörille, joissa laippakosketusta enimmäkseen tapahtuu. Ne eivät kuitenkaan pysty ennakoimaan tulevaa kaarretta tai vaihdetta.

Laipanvoitelulaitteen ohjauksen pitäisi tapahtua niin, että voiteluainetta suihkutettaisiin vain hetkeä ennen kuin laippa koskettaa kiskoon. Nykyään laipanvoitelulaitteiden suihkuttamasta voiteluaineesta päätyy suuri osa muualle kuin kiskolle tai laipan juurelle. Laipan pinnalla voi olla vain rajallinen määrä voiteluainetta, sillä liian paksuksi kerrostunut voiteluaine linkoutuu pyörän pyöriessä ilmaan ja sieltä veturin pohjaan ja kylkiin. Tästä aiheutuu sekä ympäristöhaittoja että taloudellisia menetyksiä voiteluaineen turhan kulutuksen ja junan puhdistuskulujen vuoksi.

Paikkatietoon perustuva ohjaus mahdollistaisi laipanvoitelulaitteen tarkan ohjaamisen. Tarkka ohjaus saattaisi myös mahdollistaa suuremman voiteluannoksen käyttämisen, koska ylimääräinen voiteluaine ei linkoutuisi pyörän kehältä, vaan siirtyisi kiskon kautta voitelemaan nykyistä paremmin taempia pyöriä. Näin voitaisiin saada säästöjä kiskojen ja erityisesti kalliiden vaihteiden vähäisemmän kulumisen ansiosta. Varsinkin raskaasti liikennöidyillä ratapihoilla ja tiheästi liikennöidyillä vaihteilla saattaisi syntyä selviä säästöjä. Pienentynyt voiteluaineen kulutus vähentäisi ympäristöhaittoja ja toisi säästöjä hankintakuluissa operaattoreille. Operaattorit säästäisivät myös pienempien pesukulujen ja pidempään kestävien pyörien ansiosta.

Teknologian kehityksen ja halpenemisen myötä on tullut mahdolliseksi paikantaa junia satelliittipaikannuksen avulla. Satelliittipaikannus saattaisi myös olla ratkaisu tarkkaan laipanvoitelun ohjaukseen. Se mahdollistaisi jopa yksilöllisten säätöjen asettamisen ongelmakaarteille ja vaihteille. Voitelulaitevalmistajilla onkin tällä hetkellä kehitteillä, tai suunnitelmissa kehittää, satelliittipaikannukseen perustuvia voitelulaitteita.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tässä tutkimuksessa pyritään kartoittamaan satelliittipaikannuksella ohjatun laipanvoitelulaitteen hyötyjä Suomen rataverkolle. Tarkastelun taustaksi käsitellään pyöräkiskokontaktia ja siinä vaikuttavia mekanismeja. Satelliittipaikannusohjausta verrataan nykyisin saatavissa oleviin laipanvoitelulaitteen ohjaustapoihin, joista kaarreanturiohjauksen arvioidaan olevan kilpailukykyisin. Tutkimuksessa pyritään selvittämään erityisesti hyötyjä vaihteiden ja kiskojen kulumisen kannalta ja selvittämään, voiko paikkatieto-ohjatun laipanvoitelulaitteen vaikutusta näihin arvioida kirjallisuuden perusteella.

Selvityksessä tutkitaan, kuinka tarkkaa satelliittipaikannustietoa ohjaukseen tarvitaan ja onko sellaista saatavissa. Lisäksi selvitetään satelliittipaikannuksen toimivuutta rautatieympäristössä. Paikannustiedon lisäksi ohjaukseen tarvitaan paikkatietoa ratojen ja vaihteiden sijainnista. Sen vuoksi tutkimuksessa selvitetään, millaista paikkatietoaineistoa sovellukseen vaaditaan ja onko sellaista saatavissa valtion rataverkolta Liikennevirastolta tai muualta.

Lisäksi tutkimuksessa pyritään selvittämään, onko satelliittipaikannukseen perustuvalla ohjauksella positiivisia tai negatiivisia turvallisuusvaikutuksia kisko-liikenteeseen.

1.3 Tutkimuksen menetelmät

Kiskojen ja vaihteiden kulumisen tutkiminen on vaikeaa ja kallista, koska pyörän ja kiskon väliseen kontaktiin vaikuttavat monet tekijät, ja kuluminen on hyvin hidasta. Laippakosketuksen kuluttavaan vaikutukseen vaikuttaa useita sekä kalustosta että ympäristöstä johtuvia tekijöitä. Koska muuttujia on paljon ja tulokset näkyvät hitaasti, tarvittaisiin kenttätutkimuksiin iso vertailuryhmä samanlaista kalustoa pitkäksi aikaa. Kaluston pitäisi myös liikkua yhtäläisissä olosuhteissa koko

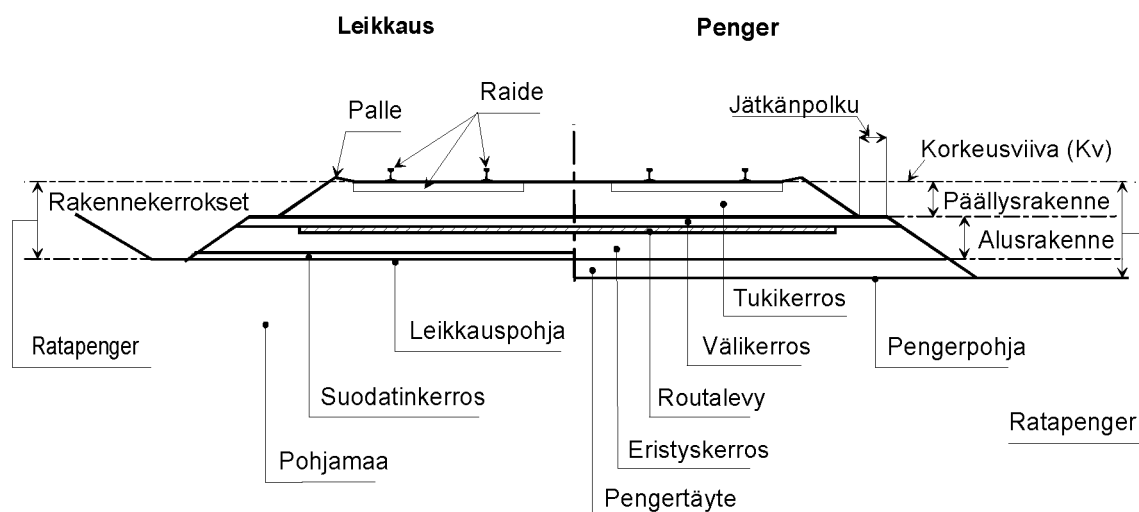
tutkimuksen ajan. Lisäksi, tutkittaessa voitelulaitteen ohjauksen vaikutuksia kulumiseen, tarvittaisiin kalliita laitteita, joilla voisi vaikuttaa voitelulaitteen ohjaukseen halutulla tavalla. Tämän tutkimuksen resurssit eivät ole siihen riittäviä, joten tutkimus suoritetaan kirjallisuustutkimuksena. Tavoitteena tutkimuksessa on löytää ulkomailla saatuja tutkimustuloksia ja arvioida niiden soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin.

2 KISKOLIIKENTEEEN PERUSKÄSITTEITÄ

Kiskoliikenteeseen liittyy paljon termistöä, jonka merkitys menee helposti sekaisin alaan perehtymättömältä henkilöltä. Usein esimerkiksi pyörää kutsutaan virheellisesti renkaaksi. Termi on oikea, kun puhutaan kehäpyörien eli rengastettujen pyörien kehästä. Suomessa käytetään kuitenkin yleisimmin umpiteräspyöriä.

Pyörät liikkuvat kahdella metallisella kiskolla, jotka on kiinnitetty ratapölkkyihin. Rakennetta, joka koostuu ratapölkkyistä, kahdesta kiskosta, ratakiskojen kiinnitys- ja jatkososista, vaihteista ja muista erikoisrakenteista, kutsutaan raiteeksi. Raide on siis kulkuväylän päällysrakenne. (1)

Rata koostuu yhdestä tai useammasta rinnakkain kulkevasta raiteesta ja kaikista niihin liittyvistä rakenteista. Rakenteita ovat esimerkiksi raiteiden tukikerrokset ja muut radan pohjustamisessa vaadittavat rakenteet, sillat, turvalaitteet ja sähköistuksen vaatimat laitteet (1). Kuvassa 1 on esitetty radan poikkileikkauskuva. Radat voidaan jakaa ratalinjoihin ja ratapihoihin. Ratalinjoja ovat radat, joita pitkin kuljetaan paikasta toiseen. Ratapihoilla taas tarkoitetaan alueita, joilla on rinnakkain useampia raiteita, joita voidaan käyttää vaunujen järjestelyyn, kuormaukseen ja varastointiin. (1)



Kuva 1. Radan rakenne. (2)

Rautatiellä tarkoitetaan kaikkea sitä, mitä tarvitaan junaliikenteen hoitamiseen ja turvaamiseen. Se sisältää siis yksi- tai useampiraiteiset radat, radan tekniikat, rakennukset ja maa-alueet, jotka tarvitaan liikenteen hoitamista ja siihen liittyvää toimintaa varten. (1)

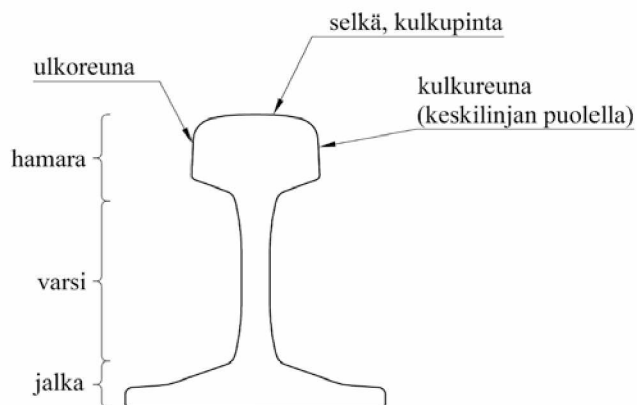
Raideleveydellä tarkoitetaan kahden kiskon välistä etäisyyttä. Raideleveys on Suomessa 1524 mm ja Venäjällä sekä useassa entisen Neuvostoliiton maassa 1520 mm. Useissa muissa Euroopan maissa käytetään kapeampaa 1435 mm raideleveyttä, jota kutsutaan standardiraideleveydeksi. Raidevälillä puolestaan

tarkoitetaan kahden raiteen välistä etäisyyttä. Raiteiden välinen etäisyys mitataan raiteen keskilinjalta toisen raiteen keskilinjalle.

2.1 Kiskot

Kiskojen tehtävänä on mahdollistaa junan kiihdytykset ja jarrutukset sekä ohjata junan kulkua suoralla ja kaarteissa. Näiden tehtävien aiheuttamien voimien lisäksi ympäristö kuormittaa kiskoja lämpövoimin ja tuulikuormin (2). Kiskoihin kohdistuu täten suuria pysty-, vaaka- ja pitkittäisvoimia. Nämä voimat asettavat kiskot kovalle sekä hetkittäisen suuren kuormituksen että pitkäaikaisen, toistuvan, väsyttävän kuormituksen takia.

Kiskon pitää välittää voimat riittävän laajalle alalle eli usealle ratapölkylle. Kiskon jäykkyys määrää, kuinka paljon kisko taipuu. Jäykkyyteen voidaan vaikuttaa kiskon profiililla. Profiililla voidaan vaikuttaa myös kiskon kulumiseen ja junien kulkudynamiikkaan. Suomessa käytetään Vignole-kiskoprofiileja. Kiskon osia nimitetään hamaraksi, varreksi ja jalaksi. Kiskoprofiili ja sen nimitykset näkyvät kuvassa 2. Kiskon ylintä pintaa, jolla pyörä suoralla kulkee, kutsutaan kiskon seläksi tai kulkupinnaksi. Kaarteissa pyörän kosketus siirtyy kohti ulkokaarten puoleisen kiskon sisäreunaa. Kiskojen sisäreunoja kutsutaan kiskon kulkureunoiksi (2)(3).

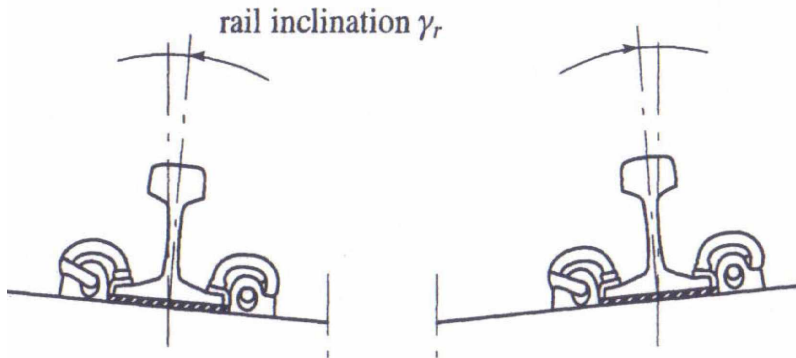


Kuva 2. Kiskon osien nimitykset. (4)

Suomeen hankitaan nykyään vain kahta eurooppalaisen standardointijärjestön (CEN) standardoimaa kiskoprofiilia, mutta käytössä on edelleen vanhempiakin kiskoprofiileja. Valtion rataverkolla noudatettava standardi on SFS-EN 13674–1, jonka sisältämistä profiileista Suomessa käytetään profiileja 54 E1 ja 60 E1. Profiilin tunnuksen ensimmäinen luku kertoo kiskon pituusmassan likimääräisesti, eli esimerkiksi 54 E1 -kiskon massa noin 54 kg/m (2)(5).

Kiskoja ei asenneta aivan suoraan ratapölkkyistä ylöspäin, vaan kiskoja kallistetaan kohti radan keskustaa, jotta kiskon ja pyörän profiilit sopisivat paremmin yhteen. Tätä kutsutaan kiskonkallistukseksi. Kuvassa 3 näkyy kiskonkallistuksen periaate. Yleisin Suomessa käytetty kallistus on 1:40, mutta joillakin kevyeen liikenteeseen

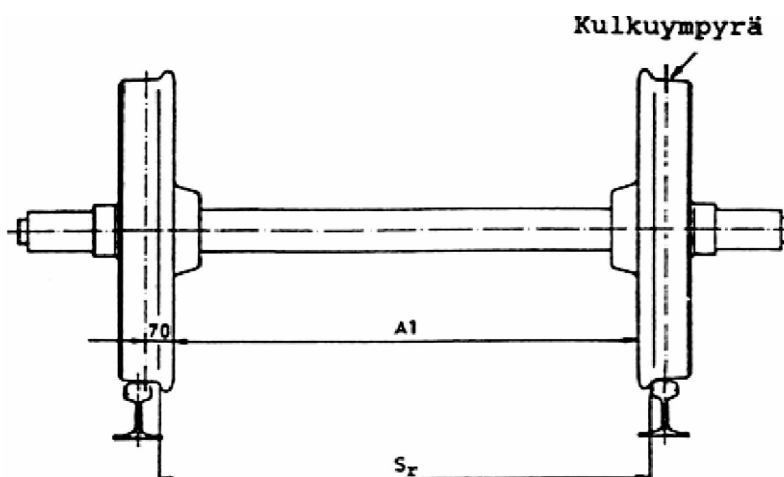
tarkoitetuilla raiteilla kallistus saattaa olla 1:20 (2)(3). Vaihteissa kiskon-kallistusta ei ole käytetty ennen vuotta 1994. Nykyään kiskoprofiili 60 E1A5 tai kiskon hamaran koneistus mahdollistavat kallistuksen käyttämisen kielisovituksissa ja koko vaihteen alueella (6).



Kuva 3. Kiskonkallistus. (3)

2.2 Pyörät

Kuvassa 4 on pyöräkerta. Se muodostuu pyöristä ja niiden välissä olevasta akselist. Lisäksi siihen saattaa kuulua akselinkäyttölaite ja jarrulevyt. Pyöräkerran pyörät eivät pyöri toisiinsa nähden, sillä ne on kiinnitetty akseliin kutistusliitoksilla. Liitokset valmistetaan kuumentamalla pyöriä uunissa tai painamalla akseli ja pyörät toisiinsa kiinni pyöräprässillä.



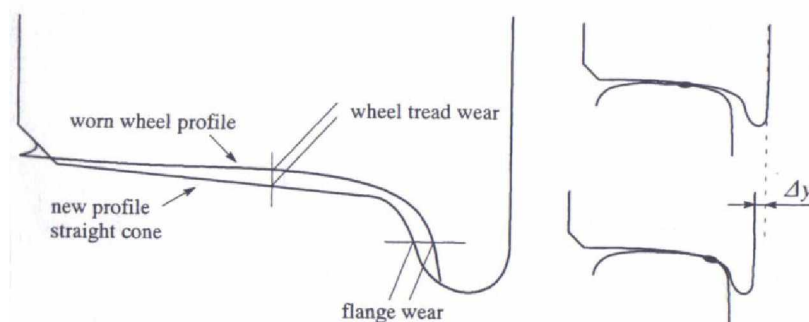
Kuva 4. Pyöräkerta. (7)

Pyörän laippa, kulkukehä ja viiste muodostavat pyörän profiilin. Laippa on pyörän sisäreunassa halkaisijaltaan suurin osa, joka varmistaa, että pyöräkerta ei putoa pois kiskoilta. Kulkukehä on pyörän kehän miltei tasainen alue, joka on kosketuksissa

kiskon selän kanssa. Uloimpana kehällä on viiste, joka helpottaa pyörän kulkua vaihdealueilla. Kulkuympyräksi kutsutaan kuvitteellista ympyrää kulkukehällä, jolla kiskon ja pyörän välinen kosketus tapahtuu suoralla radalla kuljettaessa.

Pyörissä voidaan käyttää erilaisia profiileita. Profiililla on vaikutusta kulkudynamiikkaan sekä pyörien ja kiskojen kulumiseen. Pyörän kulkukehä ei ole aivan suoran ympyrälieriön muotoinen vaan siinä on kartiopinta. Kartiokkuuden avulla voidaan vaikuttaa pyöräkerran kulkudynamiikkaan kiskoilla.

Pyörän ja kiskon profiileilla on taipumus kulua toisiaan vastaaviksi, vaikka lähtötilanne olisi erilainen. Kisko ja pyörät valmistetaan jo alussa jäljittelemään luonnollisen kuluman muotoa, jotta kulumisen jäisi mahdollisimman pieneksi ja dynaamiset ominaisuudet muuttuisivat kulumisen seurauksena mahdollisimman vähän. Tällaisia profiileja kutsutaan kulutusprofiileiksi. Kuvassa 5 näkyy kuinka pyörän profiili kuluu, jos lähtötilanteena on tasainen kartiopinta. Kulutusprofiileissa jäljitellään lopputuloksena syntynyttä profiilia.



Kuva 5. Profiilin kulumisen. (3)

Standardi SFS-EN 13715 määrittää yleisesti Euroopassa käytetyn S1002-pyöräprofiilin (5). S1002-profiilia käytetään suomalaisessakin kalustossa. Suomen rataverkolla liikkuu myös venäläistä kalustoa. Siinä käytetään erilaista profiilia. S1002-profiili mahdollistaa erilaisen mitoituksen käyttämisen käyttötarpeen mukaan. Esimerkiksi Dr14-vetureissa laipan korkeus on 28 millimetriä ja Sm5-kalustossa 30 millimetriä. Laipan paksuus on molemmissa 32,5 millimetriä. (8)

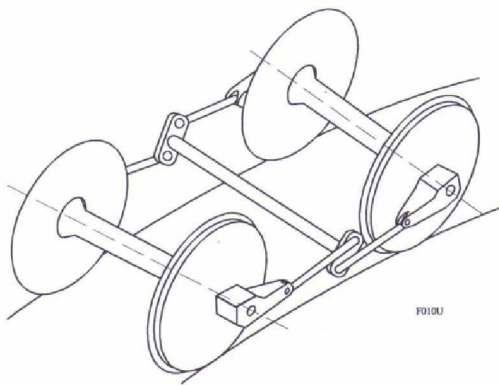
2.3 Telit

Pyöräkerrat kiinnitetään kulkuominaisuuksien parantamiseksi telihin. Suomessa on käytössä monia erilaisia telityyppejä. Telityypin käyttäytymiseen vaikuttaa se, kuinka pyöräkerrat on kiinnitetty telin runkoon. Kiinnitystavalla on merkitystä pyöräkerran kulkuominaisuuksiin suoralla ja kaarteissa. Suoralla vaaditaan vakaata kulkua ja kaarteissa pyöräkertojen pitäisi päästä asettumaan hyvin kaarteeseen suuntaisesti. Telin rakenteella onkin suuri vaikutus kiskon ja pyörien kulumiseen. Kuvassa 6 on Suomessa käytettävä tavaravaunun K17-teli.



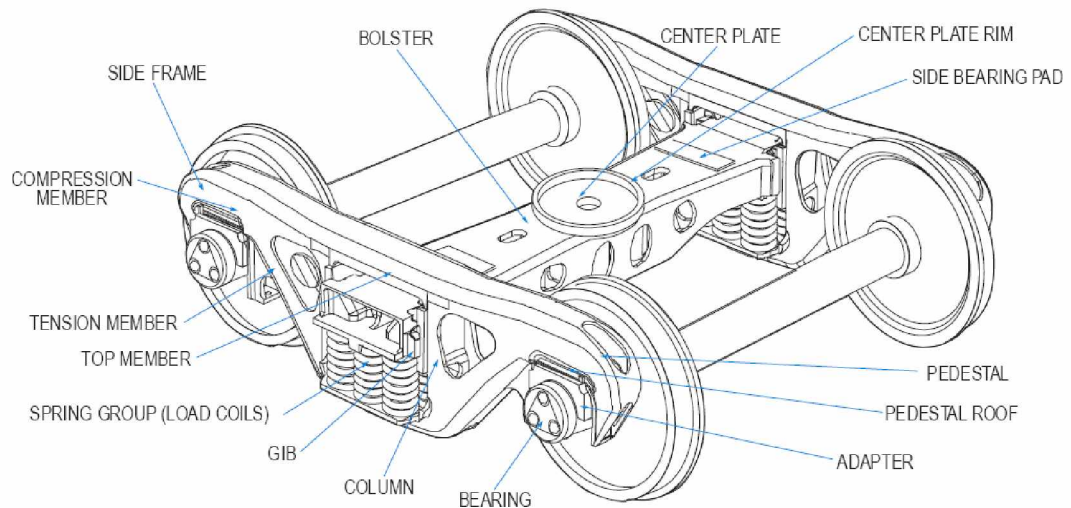
Kuva 6. K17-tavaravaunununteli.

Pyörien kulumisen vähentämiseksi Sr2-veturissa käytetään telien kääntöohjausta. Kääntöohjauksessa telin pyöräkerrat on kytketty toisiinsa vivuilla. Kuvassa 7 on Sr2-veturin telien toimintaa havainnollistava piirros. Pyöräkerrat asettuvat ohjauksen ansiosta kaarteissa paremmin kiskon suuntaiseksi.



Kuva 7. Sr2-Veturin telien kääntöohjauksen toimintaperiaate. (9)

Suomessa kulkevassa venäläisessä kalustossa käytetään venäläisen standardin mukaista teliä. Telityyppi on myös käytössä Yhdysvalloissa ja on alun perin siellä kehitettykin. Teli eroaa kulkuominaisuuksiltaan muista Suomessa käytetyistä teleistä. Sen runko koostuu kolmesta osasta, jotka pääsevät liikkumaan toistensa suhteen: kahdesta sivusta ja niitä yhdistävästä palkista. Rungon sivuosat lepäävät pyöräkertojen päällä. Kuvassa 8 on venäläisen standardin mukainen teli.

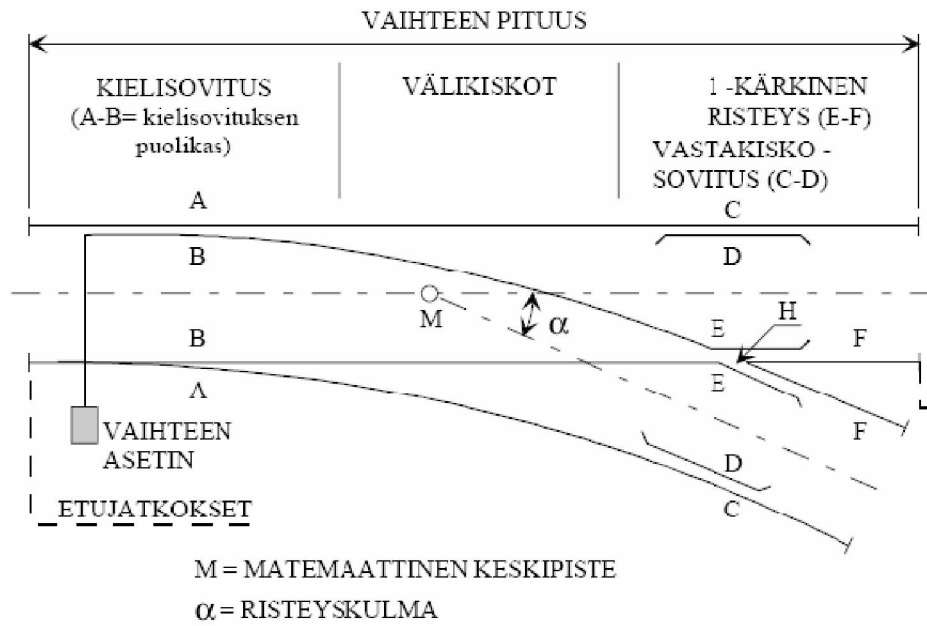


Kuva 8. Venäläinen tavaravaunuteli. (10)

2.4 Vaihteet

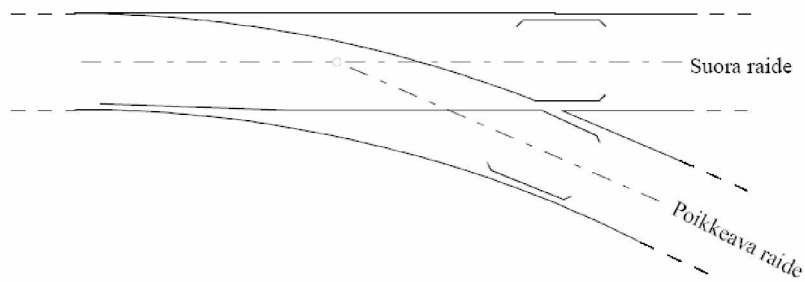
Vaihteita käytetään raiteelta toiselle siirtymiseen. Vuonna 2008 valtion rataverkolla oli vaihteita yhteensä 5690 kappaletta. Vaihdeyypit voidaan jaotella neljään ryhmään. Suurin osa niistä, 92,9 %, on yksinkertaisia vaihteita. Seuraavaksi eniten on risteysvaihteita, noin 4,5 %. Kaksoisvaihteita on vain 1,9 % ja raideristeyksiä on yhteensä ainoastaan 42 kappaletta eli 0,7 %. (11)

Kuvassa 9 on esitetty yksinkertaisen vaihteen pääosat. Muita vaihdetyyppejä käydään läpi kappaleessa 7.5.3, jossa käsitellään laipanvoitelulaitteen ohjausta vaihteissa. Kielisovituksen avulla juna ohjataan kulkemaan vaihteessa haluttuun suuntaan. Vaihteen asettimella kielet käännetään haluttuun asentoon. Muita vaihteen pääosia ovat välikiskot, 1-kärkinen risteys ja vastakiskosovitus. Vaihteen sijainti kerrotaan ilmoittamalla sen niin sanottu matemaattinen keskipiste. (6)

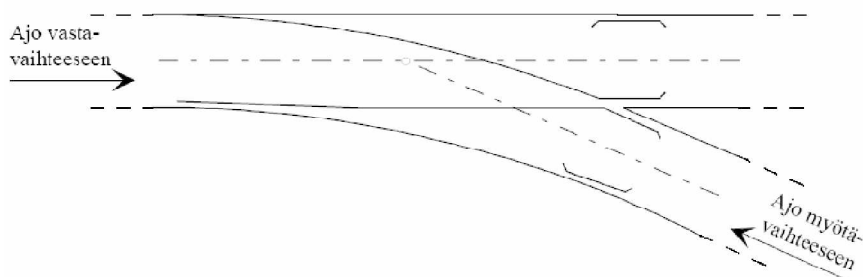


Kuva 9. Vaihteen pääosat. (6)

Kuviin 10 ja 11 on merkitty raiteiden nimitykset ja ajosuuntien nimet. Poikkeava raide on raide, joka kaartaa pois suoraan jatkuvalta raiteelta. Vastavaihteeseen ajamisesta puhutaan, kun saavutaan vaihteelle kielisovituksen suunnalta. Myötävaihteeseen ajamiseksi taas kutsutaan vastakkaisesta suunnasta saapumista.



Kuva 10. Suora ja poikkeava raide. (6)



Kuva 11. Ajosuunnat vaihteeseen. (6)

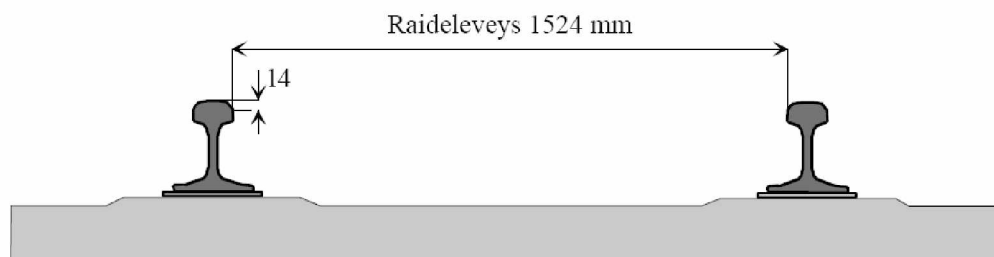
3 KULKUDYNAMIIKKA JA SEN VAIKUTUS KULUMISEEN

Pyörien ja kiskojen kulumiseen vaikuttaa suuresti se, kuinka pyörät liikkuvat kiskoilla. Tässä luvussa käydään läpi kulkudynamiikan perusteita ja käsitellään lyhyesti kiskojen, pyörien ja vaihteiden kulumista.

3.1 Pyörien sijainti kiskoilla

Yleisin käytössä oleva raideleveys on 1435 millimetriä. Sitä käytetään muun muassa suuressa osassa Eurooppaa, Yhdysvalloissa, Kanadassa, Meksikossa, Kiinassa ja Japanin uusilla suurnopeusradoilla (3).

Raideleveydeksi määritellään kiskojen kulkureunojen etäisyys 14 millimetriä kiskon selän alapuolella. Kuvassa 12 havainnollistetaan mittaustapaa. Suomen rataverkolla on käytössä 1524 millimetrin raideleveys. Raideleveys periytyy Venäjän vallan ajalta ja on miltei sama kuin nykyään Venäjällä ja useissa entisissä Neuvostoliiton maissa käytettävä 1520 millimetriä. Suomen ja Venäjän raideleveydet ovat kuitenkin edelleen yhteensopivia.

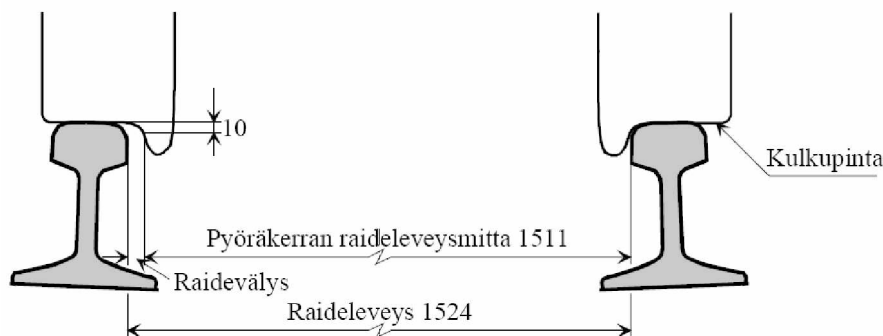


Kuva 12. Raideleveys. (12)

Jyrkissä kaarteissa, joiden säde on pienempi kuin 220 metriä, raideleveyttä kasvatetaan junan kulkuominaisuuksien parantamiseksi. Levitys toteutetaan sisempää kiskoa siirtämällä ja levityksen määrä vaihtelee kaarteiden jyrkkyydestä riippuen. Esimerkiksi 219 metrin kaarteissa levitys on viisi millimetriä ja 90 metrin kaarteissa 16 millimetriä. (12)

Pyöräkerralla raideleveyttä vastaava mitta on pyöräkerran raideleveysmitta, jota voidaan kutsua myös pyöränlaippojen väliksi. Se määrittää, millaisella raideleveydellä pyöräkerta pystyy liikkumaan. Pyöräkerran raideleveysmitta on pyöräkerran laippojen välinen etäisyys. Kuvassa 13 on havainnollistettu pyöräkerran ja raiteen mittoja. Pyöräkerran raideleveysmitta on raideleveyttä pienempi. Mittojen erotusta kutsutaan raideväliseksi tai pyöränlaippojen liikevaraksi. Raidevälityksen nimellismittaksi jää Suomessa, suomalaisella kalustolla, 13 millimetriä. Todelliseen välitykseen vaikuttavat valmistustoleranssit sekä pyörien ja kiskon kuluminen.

Raidevälyksellä on vaikutusta junan kulun tasaisuuteen, kaarrevastukseen ja raiteeseen kohdistuviin voimiin. (12)



Kuva 13. Raideleveys, raideleveysmitta ja raidevälys. (12)

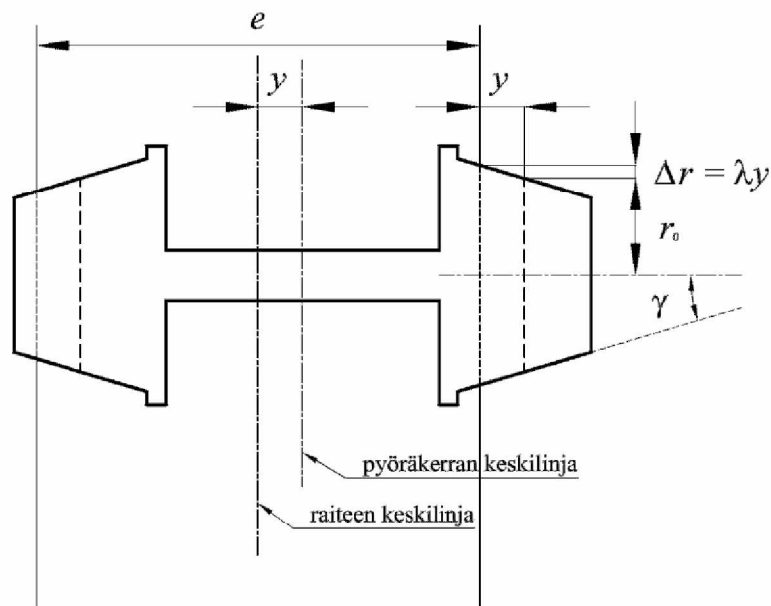
3.2 Pyöräkerran ohjautuminen

Pyöräkerran kulkudynamiikkaan ja kulumiseen vaikuttavat sekä kiskon että pyörien ominaisuudet: kiskoprofiili, kiskojen kallistus, raideleveys, pyörän profiili sekä kiskojen ja pyörien kulumisen. Kulumiselle onkin asetettu raja-arvoja, jotka pyörän ja kiskon pitää toteuttaa.

3.2.1 Kulku suoralla

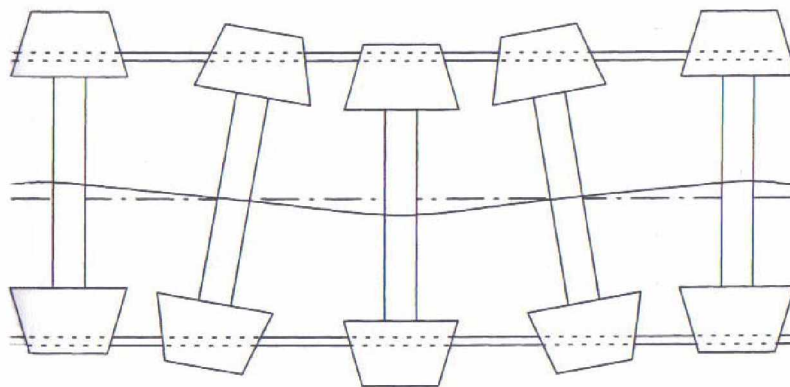
Juna ei kulje edes suoralla radalla täysin suoraan, vaan siihen kohdistuu aina esimerkiksi radan virheistä tai tuulesta johtuvia voimia, jotka poikkeuttavat junan keskiasennostaan. Tästä syystä pyörien pitää kyetä ohjaamaan junaa koko ajan, jotta se pysyy kiskoilla. Ohjautuvuus perustuu pyörien profiilin muotoon ja jäykkään akseliin niiden välissä.

Kuvassa 14 on profiililtaan yksinkertaistettu pyöräkerta. Sen pyörien profiilit on kuvattu kartioiksi, joiden sisäpinnoilla on laipat. Kun pyöräkerta liikkuu kiskoihin nähden sivusuunnassa, pyörien kartiokkuudesta johtuen pyörien kulkukehien säteet muuttuvat. Kiskoa kohden liikkuvan pyörän kulkukehän säde kasvaa ja vastaavasti keskilinjaa kohden liikkuvan pyörän kulkukehän säde pienenee. Näin keskilinjalta poikkeutuneen pyöräkerran pyörien kulkukehän pituudet ovat erisuuret.



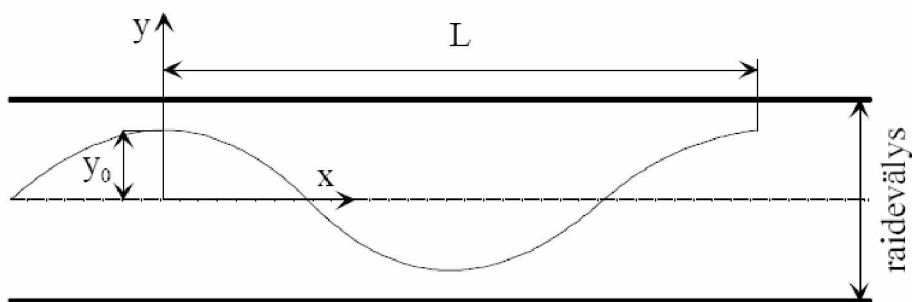
Kuva 14. Pyöräkerran pyörien kartiokkuus. (2)

Pyöräkerran molemmat pyörät pyörivät aina samaa kierrosvauhtia. Kiskoa kohden siirtynyt, eli suuremman kulkukehän omaava, pyörä liikkuu täten pidemmän matkan kuin toinen pyörä. Kuljettujen matkojen ero saa pyöräkerran kiskoa lähempänä olevan pyörän kääntymään kohti raiteen keskilinjaa. Tämä mekanismi ohjaa pyöräkertaa suoralla radalla. Pyöräkerta pysyy näin lähellä keskilinjaa, mutta on kuitenkin jatkuvasti sinimuotoisessa liikkeessä, kuten kuvassa 15 nähdään. Liikettä kutsutaan pyöräkerran siniliikkeeksi.



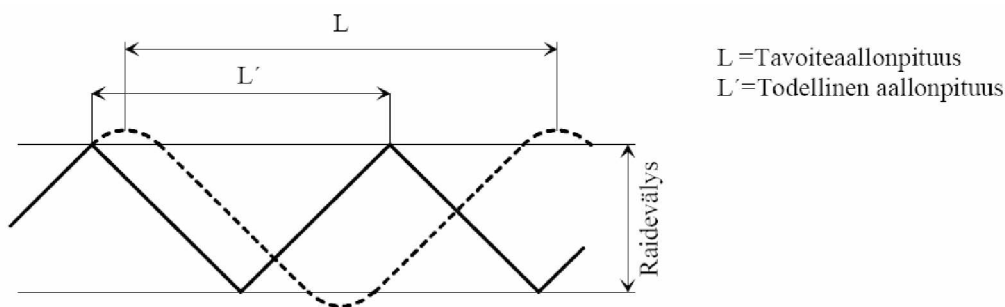
Kuva 15. Pyöräkerran siniliike suoralla radalla. (2)

Siniliikkeen muotoon vaikuttavat kartiokkuuden jyrkkyys ja junan nopeus. Siniliikkeen amplitudi suurenee nopeuden noustessa ja kartiokkuuden kasvaessa. Pyörän profiilin kartiokkuuden pitää olla riittävän pieni, jotta pystytään ajamaan haluttua nopeutta ilman, että pyörän laippa osuu kiskoihin. Raidevälitys määrää suurimman mahdollisen pyöräkerran sivuttaissiirtymän, kuten kuvassa 16 havainnollistetaan.



Kuva 16. Pyöräkerran siniliike ja raidevälys. (12)

Jos pyörien kartiokkuus on liian pieni, juna ohjautuu huonosti. Jos kartiokkuus taas on liian suuri, tulee ohjautuvuudesta voimakasta ja kulusta epästabiilia. Kun siniliikkeen amplitudi kasvaa raidevälystä suuremmaksi, pyöräkerran laipat törmäilevät kiskoihin ja siniliike häiriintyy kuten kuvassa 17. Jos liike jatkuu häiriintyneenä, heikkenevät matkustusmukavuus ja turvallisuus. Nopeutta, jossa siniliike alkaa häiriintyä, kutsutaan kriittiseksi nopeudeksi. (2)

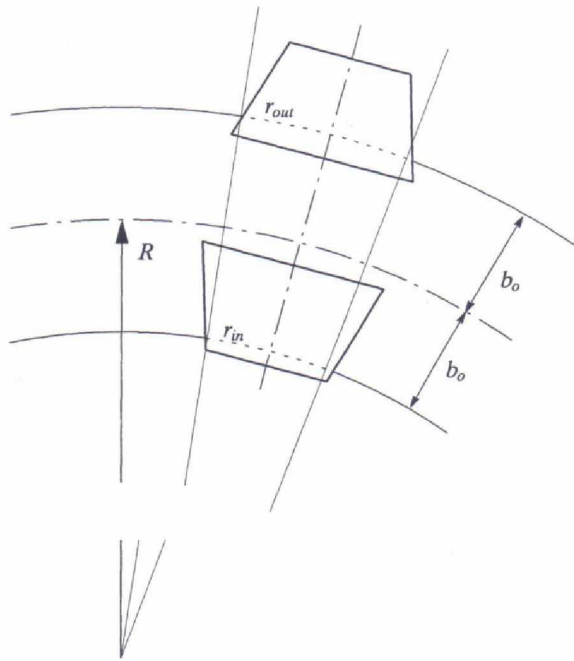


Kuva 17. Pyöräkerran häiriintynyt siniliike. (12)

Aiemmin esitetty teoria pyöräkerran siniliikkeestä rakentui yhden pyöräkerran liikkeen varaan. Teoria on voimakas yksinkertaistus todellisuudesta. Todellisuudessa pyöräkerrat eivät liiku kiskoilla yksittäisinä, vaan ne ovat kiinni telissä. Pyöräkertaa ei ole kytketty teliin täysin jäykästi, vaan liitoksessa on vaimennuksia. Yhdessä telissä on lisäksi kiinni kaksi tai useampia pyöräkertoja ja niillä on massa. Kiskojen ja pyörien välissä tapahtuu myös luistoa. Kaikki edellä mainitut tekijät vaikuttavat kulkudynamiikkaan. Tästä huolimatta junat kulkevat todellisuudessa siniliikkeessä ja niillä on kriittinen nopeus, jonka ylittäminen johtaa epästabiiliin kulkuun (3).

3.2.2 Kulku jyrkässä kaarteessa

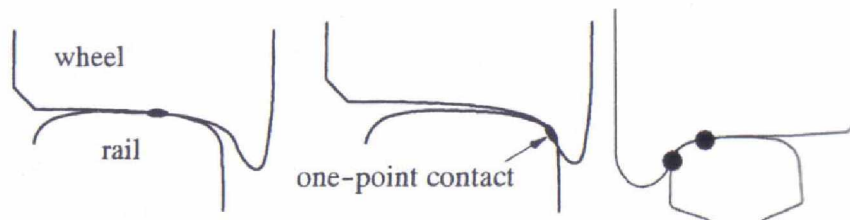
Aivan kuten suoralla, myös kaarteessa pyöräkerta pyrkii asemaan, jossa pyörän kulkukehän pituus vastaa kuljettavaa matkaa. Kaarteessa pyöräkerta siirtyy kohti ulko-kaarretta, kunnes pyörien kulkukehien pituudessa oleva ero vastaa kaarteiden ulko- ja sisäkiskon kulkeman matkan eroa. Pyöräkerta siis keskittää itsensä kaarteiden säteen suuntaiseksi, kuten kuvassa 18 nähdään. (3)



Kuva 18. Pyöräkerran kulku kaarteessa. (3)

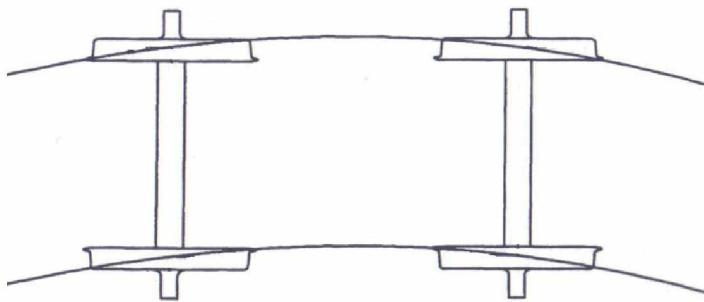
Kaarteen jyrkkyyden kasvaessa suureksi, siirtyvät pyörät sivusuunnassa, kunnes pyörän laippa osuu kiskoon. Laippakosketus ei ole pyörän kulun kannalta optimaalinen tapa. Pyörien profiilit onkin suunniteltu niin, että kartiokkuus kasvaa laippaa lähestyttäessä, jotta pystyttäisiin kulkemaan mahdollisimman jyrkässä kaarteessa ilman laippakosketusta (3). Kaarteen jyrkentyessä riittävästi syntyy laippakosketus kuitenkin aina lopulta.

Laippakosketuksen haitallisuus johtuu siitä, että kiskon ja pyörän siirtämä kuormitus pyrkii tällöin jakautumaan kahdelle alueelle. Tilannetta kutsutaan kaksipistekontaktiksi. Se on haitallinen, koska siinä kosketusalueiden pyörimissäteiden välillä on ero. Tämä johtaa siihen, että toisessa pisteessä tapahtuu luistoa. Pyörän pyöriessä ja kaksipistekosketuksen vallitessa laippa hankaa kiskon reunaan ja kuluttaa sitä sekä kiskoa. Kiskon ja pyörän kulumisen kannalta kuormituksen pitäisi tapahtua vain yhdellä pienellä alueella, jolloin kyseessä on yksipistekontakti. Tämän saavuttamiseksi pitäisi sekä kiskon että pyörän profiilien olla täysin kulumattomat (3). Kuvassa 19 on havainnollistettu yksi- ja kaksipistekontaktin eroa, ja kuinka kontaktipiste siirtyy pyöräkerran liikkeessä sivusuunnassa kiskon suhteen.



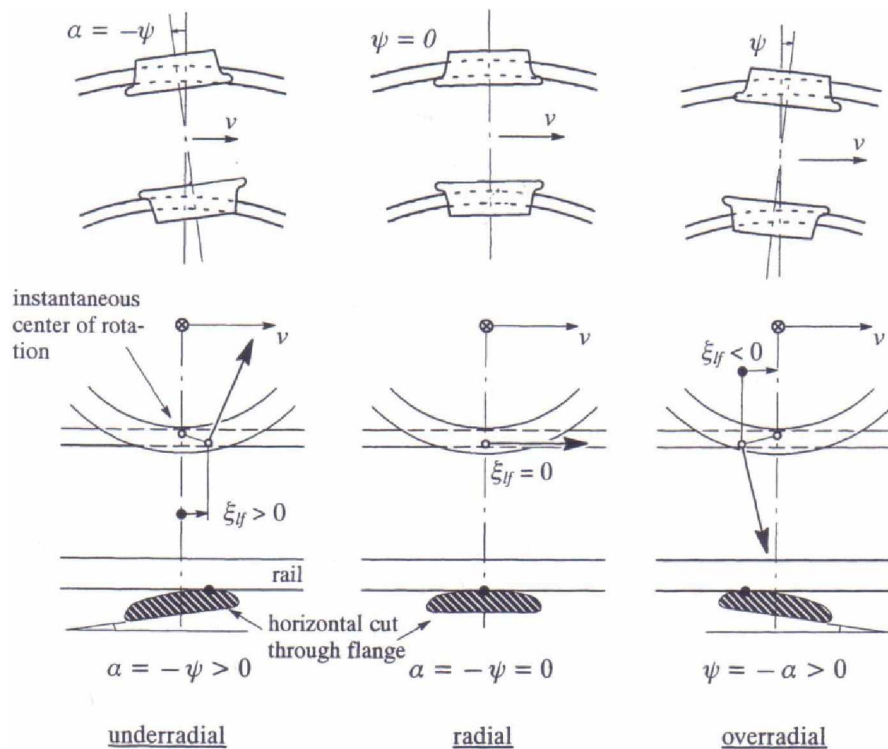
Kuva 19. Kahdessa vasemmanpuoleisessa kuvassa on yksipistekontakti. Kosketuspiste siirtyy pyöräkerran siirtyessä sivusuunnassa. Oikeanpuoleisessa kuvassa kaksipistekosketus. (3)(5)

Todellisuudessa pyöräkerrat on kiinnitetty teliin eikä niiden liike ole täysin vapaata. Jäykästi teliin kiinnitetyt pyöräkerrat eivät voi asettua kaarteeseen suuntaisesti, vaan laipat osuvat kiskoon. Kuvassa 20 havainnollistetaan ongelmaa.



Kuva 20. Jäykän telin kulku kaarteessa. (3)

Koska täysin jäykästi teliin kytketyt pyöräkerrat eivät ole kulumisen ja kulkudynamiikan kannalta hyviä, käytetään teleissä erilaisia ratkaisuja, joilla mahdollistetaan pyöräkertojen liike suhteessa teliin. Pyöräkerran mahdollisuus asettua vapaasti telin suhteen ei kuitenkaan koskaan täysin toteudu, koska liikkeen mahdollistavassa mekanismissa on vastuksia kuten kitkaa ja iskunvaimentimia. Pyöräkerran ja kiskon välinen kohtauskulma vaikuttaa laippaan kohdistuviin voimiin. Kuvassa 21 on esitetty telin ensimmäinen pyöräkerta ja erilaisten kohtauskulmien vaikutus laippakontaktin aiheuttamiin voimiin.



Kuva 21. Pyöräkerran ja kiskon kohtauskulmia ja niiden vaikutus laippavoimiin.(3)

Usein kaksipistekosketuksen vallitessa pyöräkerta pyrkii asettumaan kiskoihin nähden kuten kuvan 21 vasemman puoleisessa sarakkeessa. Tällöin pyörä pyrkii nousemaan ylöspäin, mikä lisää suistumisen riskiä. (3)

Kaarresädetä, jossa pyörien laipat osuvat kiskoon, on vaikea määrittää tarkasti, koska monet asiat vaikuttavat siihen. Varsinkin telien rakenteella on huomattava vaikutus siihen, millä kaarresäteellä kosketus kiskoon tapahtuu. Myös kiskon ja pyörän välinen kitka vaikuttaa laippakosketuksen syntyyn. (3)

3.3 Raiteiden vaakageometria ja sen vaikutus laippakosketukseen

Raiteen geometrian hyvä suunnittelu on tärkeää, jotta junat voivat liikkua turvallisesti ja saavutetaan hyvä matkustusmukavuus. Suunnittelulla voidaan myös vaikuttaa voimiin, jotka pyörän ja kiskon välillä vallitsevat. Näillä voimilla puolestaan on vaikutusta kiskojen ja pyörien kulumiseen.

Raiteen kulkua vaakatasossa kuvataan vaakageometrialla. Se pyritään suunnittelemaan niin, että kiskoihin kohdistuvat voimat pystyttäisiin pitämään mahdollisimman alhaisina, eikä matkustajiin kohdistuisi epä mukavia kiihtyvyyksiä. Tähän päästään kun rata suunnitellaan siten, ettei siinä ole liian jyrkkiä kaarteita suhteessa nopeuteen, kaarresäteet eivät muutu liian nopeasti ja radan kaarteet on kallistettu sopivasti suhteessa ajonopeuteen.

3.3.1 Kaarteet

Kaarteella tarkoitetaan siirtymäkaarien ja normaalikaaren yhdistelmää. Siirtymäkaari on alue, jolla säteen suuruus muuttuu jatkuvasti. Suora rata ei voi suoraan muuttua ympyräkaareksi, jossa kaarresäde on vakio, sillä muutoskohtaan tulisi äkillinen suunnanmuutos. Siirtymäkaarteessa säde muuttuu asteittain kohti ympyräkaaren sädettä. Vastaavasti ympyräkaaren lopussa tarvitaan toinen siirtymäkaarre ennen suoraa osuutta. Ympyräkaarretta kutsutaan normaalikaarteeksi. (12)

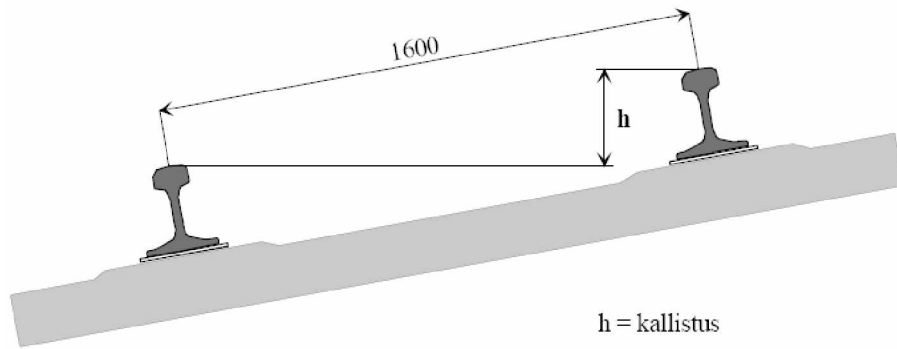
Korikaarteella tarkoitetaan radan muotoa, joka muodostuu kahdesta tai useammasta eri säteisestä kaaresta. Sen eri säteisten kaarteiden välissä käytetään myös siirtymäkaarteita. Lisäksi korikaaren alussa ja lopussa on siirtymäkaarteet. (12)

Kahta vastakkaisiin suuntiin kaartuvaa kaarretta kutsutaan S-kaarteeksi. Myös S-kaarten alussa, välissä ja lopussa käytetään kaarresäteestä riippuen siirtymäkaaria. (12)

3.3.2 Raiteen kallistus

Junan tullessa kaarteeseen kovaa vauhtia kohdistavat pyörät kiskoihin kovia sivuttaisvoimia. Junan kuorma pyrkii myös painautumaan kohti ulkokaarretta, mikä on ikävää matkustusmukavuuden kannalta. Kiskoihin ja pyöriin kohdistuvat sivuttaisvoimat aiheuttavat kulumista, koska pyörän laippa siirtyy kiskoon kiinni ja syntyy hankausta.

Raiteita kallistamalla pystytään vaikuttamaan junan, lastin ja matkustajien kokemuksiin voimiin. Raiteen kallistuksen ansiosta osa sivuttaisvoimista voidaan muuttaa junan koordinaatistosta katsoen alapäin suuntautuneiksi. Näin esimerkiksi matkustajat tuntevat kovavauhtisessa ja kallistetussa kaarteessa painavansa enemmän, mutta sivuttaissuuntainen voima vastaavasti on hiukan pienempi. Myös kiskoja kuormittava sivuttaisvoima jää pienemmäksi. Kallistus toteutetaan ulommaista kiskoa nostamalla kuten kuvassa 22. Kallistuksen määrää lisätään siirtymäkaarten aikana, jotta saadaan muutos tapahtumaan tasaisesti. Raiteen kallistus vaikuttaa voitelun tarpeeseen.



Kuva 22. Raiteen kallistus. (12)

Raiteen kallistuksen arvo täytyy laskea aina jonkin nopeuden mukaan ja tätä nopeutta kutsutaan mitoitusnopeudeksi (2). Samalla radalla saattaa kulkea sekä hitaita tavara-junia, että nopeita matkustajajunia. Nopeus, jolla kallistus lasketaan pitää valita nämä tekijät huomioon ottaen (12). Jos kallistus on laskettu nopeammalle junalle kuin kaarteessa kulkeva juna, valuu juna sisäkaarteeseen puolelle ja jos hitaammalle, painautuu juna ulkokiskoja vasten. Sisäkaarteeseen puolelle valuneen junan pyöräkerrat nousevat ylös ulkokaarteeseen ja valahtavat taas alas sisäkaarteeseen.

3.4 Kiskojen ja pyörien kuluminen

Kiskojen ja pyörien kulumisen aiheuttaa raideliikenteelle huomattavia kustannuksia. Kiskojen kulumisen johtaa niiden hiomiseen tai vaihtamiseen. Pyörien kulumiseen vastataan sorvauksella tai pyörien vaihdolla. Kaikissa näissä toimenpiteissä kuluu kalliita työtunteja, kallista koneaikaa, ja uudet kiskot ja pyörätkin maksavat paljon. Kuluja aiheutuu myös ajasta, jonka kalusto on poissa tuottavasta toiminnasta. Kiskonvaihto aiheuttaa lisäksi liikennekatkon. Kulumiseen vaikuttavat kontaktin molemmat osapuolet. Tästä syystä sekä pyörien että kiskojen on oltava hyvässä kunnossa, jotta kulumisen olisi mahdollisimman vähäistä.

Materiaalin irtoaminen ja siirtyminen on kulumista. Pintoihin voi muodostua plastisia muodonmuutoksia, materiaalin väsymistä, säröjä, lovia, halkeamia ja tasomaisia virheitä. Kulumiseen vaikuttavat monet asiat. (13) Tässä työssä keskitytään kulumiseen, johon voidaan vaikuttaa laipanvoitelulla.

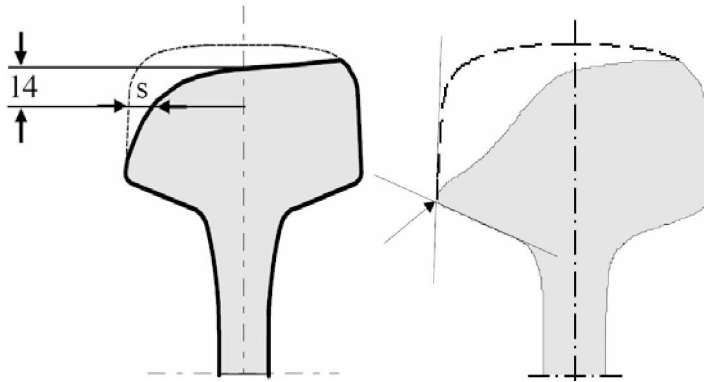
Laippakontaktissa tapahtuva kulumisen voidaan luokitella kahdenlaiseksi: lieväksi kulumiseksi (mild wear) ja vakavaksi kulumiseksi (severe wear). Lievässä kulumisessa pinnat yleensä kiillottuvat alkuperäistä pintaa tasaisemmiksi, koska pinnasta irtoava materiaali irtoaa erittäin pieninä paloina. Vakavassa kulumisessa pinnan laatu karkenee. (14) Olosuhteet pyritäänkin aina järjestämään sellaisiksi, että vakavaa kulumista ei tapahtuisi.

3.4.1 Kiskojen kuluminen

Profiilin muutos jyrkissä kaarteissa on merkittävä tekijä radan huoltokustannuksille. Siihen vaikuttavat eniten materiaalin irtoaminen ja plastiset muodon muutokset. Laippakontaktissa voimat ovat suuria ja ne kohdistuvat sekä suoraan kiskoon että

kiskon pinnan suuntaisesti. Vierintäkosketusväsymistä (RCF Rolling Contact Fatigue) syntyy toistuvan myötörajan ylittävän kuormituksen seurauksena. Tällöin alkaa syntyä deformaation suuntaisia pintasäröjä. Säröt kasvavat kohti kiskon keskustaa ja jos ne pääsevät kasvamaan liian syviksi, kisko pitää hioa. Jos hiontaa ei suoriteta, saattaa seurauksena olla kiskon murtuminen. Vierintäkosketusväsymisestä johtuvat muutokset voivat alkaa myös kiskon sisältä. Tällöin ne alkavat usein metallin virheistä. Voitelulla voidaan kuitenkin vaikuttaa lähinnä pintasäröihin. (13)(15)

Laippakontakti aiheuttaa kiskon sivukulumaa. Kuvassa 23 näkyy sivukuluneisuus ja kuinka se mitataan. Sivukuluneisuudelle on säädetty raja-arvoja, jotka riippuvat radalla vallitsevasta nopeusrajoituksesta. Jos nopeusrajoitus on alle 120 km/h, ei sivukuluneisuus saa ylittää hamaran alareunaa. Nopeusrajoituksen ollessa välillä 120–160 km/h, sivukuluneisuus saa olla maksimissaan seitsemän millimetriä, tätä nopeammilla radoilla vain viisi millimetriä. (16)



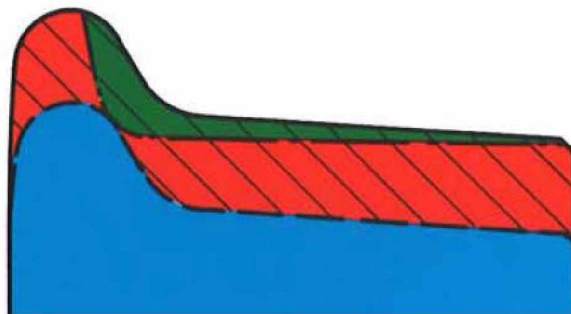
Kuva 23. Sivukuluneisuuden mittaaminen ja hamaran alareuna. (16)

Kiskon sivukulumisen nopeus vaihtelee alueittain käytetystä kalustosta ja liikennemääristä riippuen. Itärajalla kulkee suuria määriä raskasta kuormaa ja sivukuluma on siellä suurinta. Vainikkalan ratapihalla kiskoja on jouduttu vaihtamaan pahimmillaan puolen vuoden jälkeen. Kiskon sivukulumisongelmaan on yleisesti vastattu muuttamalla ratageometriaa, esimerkiksi raiteenkallistusta, tai käyttämällä kovempaa kiskoja. Normaalikiskotus on ennen vuotta 1975 ollut kovuudeltaan R200 ja sen jälkeen R260. Ongelmakaarteissa voidaan käyttää kiskoja, joiden hamaran kovuus on R350. (17)

3.4.2 Pyörien kuluminen

Pyörien kuluneisuudelle on asetettu normit. Jos pyörä on liian kulunut, pitää se sorvata tai vaihtaa. Pyörät voivat kulua useilla tavoilla. Niihin saattaa syntyä virheitä kuten tasoja, aallotusta, ympyrämaisyyden muotovirheitä tai rosoja. Pyörät saattavat myös kulua runsaasti keskeltä kulkukehää, jolloin kartiokkuus muuttuu epäedulliseksi. Tällaista kulkukehän keskellä olevaa uraa kutsutaan "hollow wear" -kulumaksi. Vierintäkosketusväsyminen saattaa aiheuttaa pyörän pintaan säröjä. Säröjä saattaa syntyä myös laipan juurelle. Esimerkiksi Helsingin Metrossa korkeat kitkat kaarreajossa ovat aiheuttaneet laipan juureen vierintäkosketusväsymistä. Vierintäkosketusväsymisestä aiheutuneet säröt täytyy sorvata pois, jotta ne eivät pääse kasvamaan niin suuriksi, että ne aiheuttavat turvallisuusongelmia. (13)

Laipan vähimmäispaksuudelle on asetettu raja-arvo ja jos laipan paksuus ei tätä täytä, joudutaan se sorvaamaan uudelleen. Liian ohueksi kulunut laippa muuttaa kulkudynamiikkaa ja saattaa aiheuttaa suistumisen. Laipan kulumisen on erittäin merkittävä tekijä, koska pyörästä joudutaan sorvaamaan paljon materiaalia pois, jotta laipan paksuus saadaan palautettua sallittuihin arvoihin. Kuvassa 24 on merkitty vihreällä profiilin kulumaa. Pyörästä joudutaan sorvaamaan punaisen alueen verran materiaalia pois, jotta saavutetaan vaadittu laipan paksuus.



Kuva 24. Kuva havainnollistaa laipan kuluman haitallisuutta. Kuvassa on merkitty vihreällä värillä laipan kulumaa. Laipan paksuuden saattamiseksi sallittuihin mittoihin joudutaan sorvaamaan punaisella merkitty materiaali pois. (18)

3.4.3 Vaihteiden kuluminen

Vaihteissa merkittävin kuluminen on sivukulumaa. Vaihteissa oleva jyrkkä kaarros alkaa kielisovituksen kohdalta ja jatkuu välikiskoissa. Sivukuluman seurauksena vaihteisiin joudutaan vaihtamaan kieliiä ja välikiskoja.

Yleisesti käytettyjä yksinkertaisia vaihteita ovat YV54- ja YV60-vaihteet. YV60-300 -vaihteen, jonka kaarresäde on 300 metriä, käyttö vähentää kulumista jo oleellisesti verrattuna YV54-200 -vaihteeseen, jonka kaarresäde on vain 200 metriä. Kuluminen vähenee edelleen kun käytetään vaihteita, joiden kaarresäteet ovat suurempia. Vaihteita, joiden kaarresäde on yli 300 metriä, kutsutaan pitkiksi vaihteiksi ja vaihteita, joiden kaarresäde on tätä pienempi, kutsutaan lyhyiksi vaihteiksi.

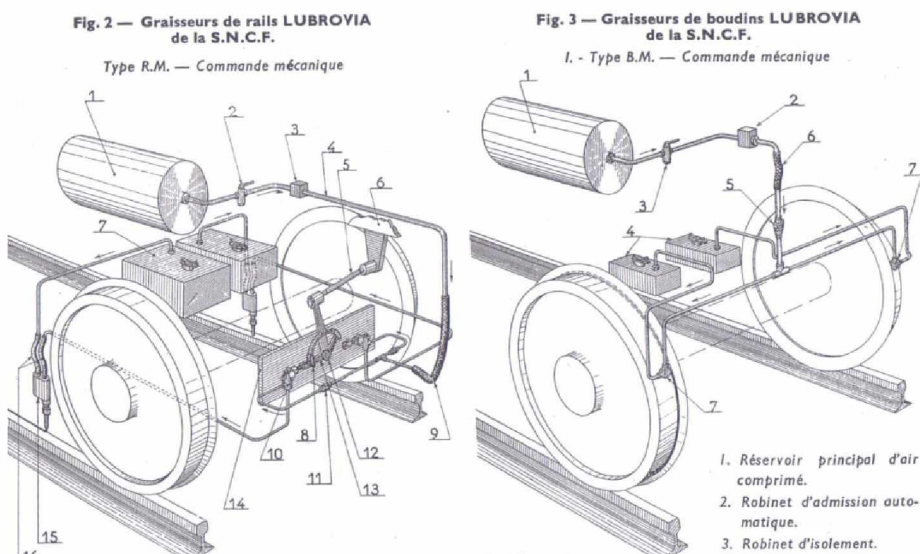
Vaihteiden kulumistakin voi vähentää käyttämällä niissä kovempaa materiaalia. YV54-vaihteiden kohdalla on ongelmallista, että vaihteessa käytettäviä 54E1 -profiilin kieliiä ei valmisteta kovemmasta materiaalista, vaan ainoastaan R260-kovuudella. Tästä syystä kovan kulutuksen alueella vaihde pitää vaihtaa kokonaan 60E1-profiilista valmistettuun vaihteeseen, johon saa kovemmasta R350HT (heat treated) -materiaalista valmistettuja kieliiä. Uuden vaihteen vaihtaminen on kallista. (17)

4 LAIPPAKONTAKTIN VOITELU

Tässä työssä on keskitytty vain pyörän laipan ja kiskon kulkureunan voitelun vaikutuksiin. Kiskon selän voitelun/kitkanhallinnan hyötyjä sivutaan vain lyhyesti.

4.1 Historia

Kiskojen voitelun hyödyllisyys havaittiin useissa maissa jo 1800-luvun lopulla. Ranskalaisessa lehdessä aihetta on käsitelty vuonna 1885. Jo 1920-luvulla Ranskassa oli käytössä junaan kiinnitettävä laite, joka voiteli kiskoa öljysumulla. Vuonna 1951 ranskalainen rautatieliikenneyhtiö S.N.C.F. päätti asentaa voitelulaitteet huomattavaan osaan kalustoaan. Vuonna 1960 voitelulaitteet olivat käytössä jo yli tuhannessa heidän junassaan. Laite, jota Ranskassa tällöin käytettiin, voiteli ulkokaarten puoleista kiskoa suoraan öljysumulla. Kuvassa 25 on vuoden 1960 lehdessä julkaistut kaavakuvat sekä kiskoa että laippaa voitelevien laitteiden toimintaperiaatteista. Laipanvoitelulaitteissa käytetään edelleen menetelmää, jossa voiteluaine suihkutetaan ilmasuihkun mukana laipalle. (19)(20)



Kuva 25. Kuvassa esitetään vanhojen voitelulaitteiden toimintaperiaatteet. Vasemmanpuoleinen voitelulaite suihkuttaa voiteluaineen suoraan kiskolle ja sitä ohjataan mekaanisesti junan kallistuksen perusteella. Oikeanpuoleinen laite suihkuttaa voiteluaineen pyörän laipalle ja sitä ohjataan sähkökäyttöisesti. (20)

Höyryveturien aikana laippakontaktin voitelua tapahtui myös sivutuotteena, kun vetureista vuoti öljyä ja höyry kostutti pyöriä ja kiskoja. Kiskojen kuivuessa sähkövetureiden käytön lisääntyessä kuluminen pahentui. Lisäksi jatkuvasti kasvavat akselipainot aiheuttivat kulumisongelmia. Akselipainojen kasvu on jatkunut näihin

päiviin asti. Voitelun tarpeen lisääntyessä voitelulaitteiden käyttö levisi 1970-luvulla maailman laajuiseksi nopeaan tahtiin. (21)(22)

4.2 Missä voitelua tarvitaan

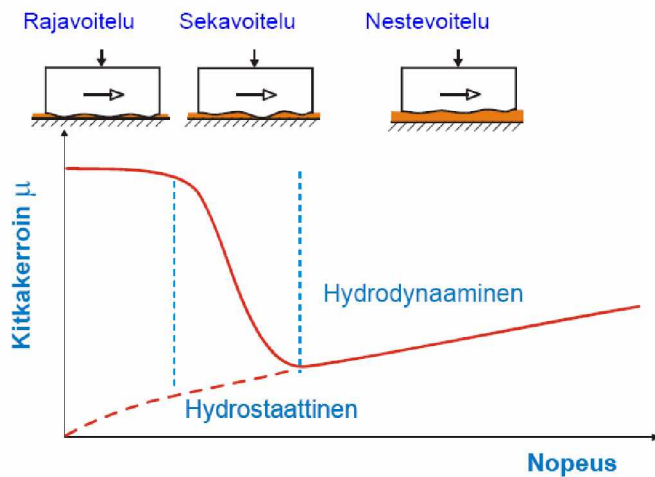
Laippakontaktin voitelua tarvitaan, kun pyörän laippa osuu kiskoon. Suomalaisen kiskokaluston kulkudynamiikasta johtuen laipat eivät osu kiskoon suorilla tai loivasti kaarevilla rataosuuksilla. Voitelulle onkin tarvetta jyrkissä kaarteissa. Myös vaihteissa on jyrkkä kaarre, joten niissäkin voitelusta on hyötyä.

Mitä jyrkempi kaarre, sen suuremmaksi voitelun hyödyt kasvavat. Kova vauhti, suuret akselipainot ja huonosti ohjautuva telityyppi lisäävät laippavoimia ja sitä kautta voitelun tarvetta. Tiheästi liikennöidyt radan osat kuluvat nopeimmin, ja voitelulla saavutetaan tällaisella alueella suurimmat säästöt.

4.3 Kisko-pyöräkosketuksen tribologiaa

Kiskon ja pyörän kosketus on voitelun kannalta vaativa tehtävä. Kosketuspinnan voitelu eroaa monista muista voitelua vaativista sovelluksista siinä, että systeemi on avoin ja toisiaan koskettavat kappaleet vaihtuvat jatkuvasti, eivätkä pääse muodostamaan kulumisparia. Esimerkiksi laakerissa samat rullat kulkevat koko ajan laakerin sisällä, ja näin pinnat mukautuvat toisiinsa. Laakeri on myös suljettu, joten sen kosketuspintojen väliin ei pääse epäpuhtauksia kuten pyörän ja kiskon tapauksessa (23).

Kahden pinnan voideltu kontakti voidaan jakaa voitelukalvon perusteella kolmeen tyyppiin: rajavoitelu, sekavoitelu ja nestevoitelu. Nestevoitelussa pinnat eivät kosketa toisiaan, vaan niitä erottaa voitelukalvo. Sekavoitelussa pinnat eivät ole täysin erotettuja toisistaan, vaan pinnoissa olevat huiput osuvat toisiinsa. Rajavoitelussa vain pinnankarheet kantavat kuorman ja tästä syystä kulumisen voi olla vakavaa. Voiteluainekalvon paksuuteen vaikuttaa kuorma, voiteluaineen viskositeetti ja liukunopeus. Tilannetta havainnollistetaan kuvassa 26. Eri tilanteissa voiteluaineelta vaaditaan erilaista koostumusta. Pyörän ja kiskon välisessä kontaktissa on kyseessä yleensä rajavoitelu. Rajavoitelutilanteessa voiteluaineeseen lisätään EP-lisäaineita (Extreme Pressure). Ne kiinnittyvät pintoihin ja muodostavat suojaavan kerroksen vähentäen näin kulumista. (21)



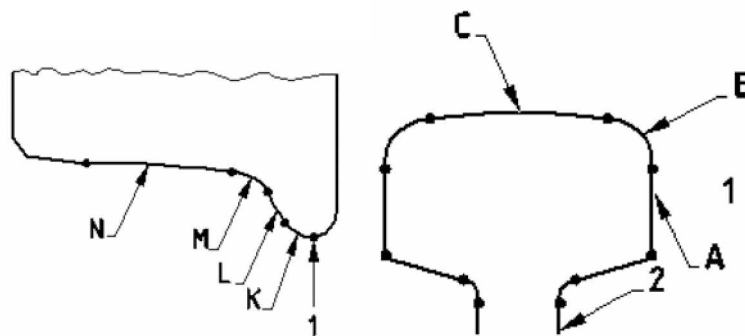
Kuva 26. Voitelumekanismit.(24)

Laippakontaktin voitelussa voiteluainetta ei saada kerättyä talteen, vaan se päättyy ympäristöön. Tästä syystä voiteluaineelle pitää pyrkiä valitsemaan mahdollisimman ympäristöystävällinen koostumus. Monet EP-lisäaineet ovat myrkyllisiä (21). Lisäaineilla on kuitenkin suuri merkitys kulumisen kannalta. Voiteluaineen määrä on toinen merkittävä kulumiseen vaikuttava tekijä. Ympäristön kannalta paras voiteluaine on vesi, jota käytetäänkin tähän tarkoitukseen muun muassa Hampurin metrossa. Vesisuihkuilla pyritään yleensä ensisijaisesti vähentämään kaarremelua. Kuvassa 27 nähdään, kuinka vesisuihku voitelee molempia kiskoja. Vesi ei kuitenkaan ole yhtä tehokas voitelemaan kuin muut vaihtoehdot. Lisäksi sitä ei voida käyttää talvisin. Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan nykyään on olemassa voiteluaineita, jotka eivät sisällä myrkyjä, mutta joiden voiteluteho on kuitenkin verrattavissa aiempiin haitallisiin voiteluaineisiin (25).



Kuva 27. Hampurin metron kiskojen voitelua vedellä.

Voiteluaine voidaan levittää joko kiskon kulkureunalle tai pyörän laipalle. Kuvassa 28 on esitetty pyörän ja kiskon alueita, joissa voiteluainetta pitäisi olla, kun laippakontakti tapahtuu. Pyörällä voitelukalvon pitäisi olla alueilla M ja L. Alueella K voiteluaineesta ei ole haittaa. Alueella N ei pitäisi olla voiteluainetta, mutta pieniä määriä voidaan hyväksyä lähellä alueen N ja M rajaa. Kiskosta pitäisi olla voideltuna alue B. Alueella A olevasta voiteluaineesta ei ole haittaa. Alueella C saa olla vain pieniä jälkiä sinne muualta kulkeutuneesta voiteluaineesta. (26) Kun tässä työssä puhutaan kiskon kulkureunan voitelusta, tarkoitetaan silloin sekä alueen B että A voitelua. Kuluneesta kiskosta alueet ovat vaikeammin erotettavissa ja laippakontakti tapahtuu laajemmalla alueella.



Kuva 28. Pyörän alueiden M ja L sekä kiskon alueen B pitäisi olla voidellut laippakosketuksen tapahtuessa. (26)

Junaan asennetun voitelulaitteen pyörän laipalle levittämä voiteluaine siirtyy laipan välityksellä kiskon kulkureunalle ja tätä kautta edelleen taempiin pyöriin niiden ajaessa voidellun kohdan yli. Suoraan kiskon kulkureunalle voiteluaine voidaan levittää joko kiskoihin kiinnitetyistä voitelulaitteista tai erillisillä voiteluajoneuvoilla, joilla ajetaan säännöllisesti halutuilla rataosuuksilla. Voiteluaineina käytetään nestemäisiä aineita (öljy ja rasva) sekä kiinteitä voitelutikkuja, joissa voiteluaine on sekoitettuna kiinteään sidosaineeseen. Voitelutikkuja käytetään vain ajoneuvoon kiinnitettynä.

4.4 Laipanvoitelulaitteissa käytettävät voiteluaineet

Sopivan voiteluaineen valitseminen ei ole helppoa, sillä voiteluaineelta vaaditaan monenlaisia ominaisuuksia. Kiskon ja laipan kosketuspisteessä lämpötila saattaa käydä jopa alueella 600–800 °C, mikä saattaa johtaa voiteluaineen pois palamiseen (27). Ilmanlämpötila vaihtelee Suomessa talven pakkasten ja kesän helteiden välillä suuresti. Lämpötila vaikuttaa voimakkaasti voiteluaineiden viskositeettiin. Liian kiinteää voiteluainetta ei saa ulos voitelulaitteesta ja liian juokseva voiteluaine ei pysy voideltavalla pinnalla. Lisäksi voiteluaine joutuu alttiiksi kovalle paineelle, sen pitää pysyä homogeenisena pitkiäkin aikoja, se ei saa haihtua liian helposti ja joutuessaan esimerkiksi junien kumiosien päälle, se ei saisi aiheuttaa ongelmia.

Rasva on monilta ominaisuuksiltaan öljyä parempi vaihtoehto. Rasvalla on öljyä parempi pintapaineen kesto, mikä pienentää kiskon ja pyörän kulumista. Parempi voitelukyky johtaa pienempään voiteluaineen kulutukseen, josta seuraa ympäristöhyötyjä. Rasva ei myöskään linkoudu laipalta yhtä helposti pois kuin öljy, ja täten kalusto pysyy puhtaampana. Rasvan pakkaskestävyys on kriittinen tekijä, ja rasva pitääkin valita tästä syystä huolella. (28)

Suomessa on tällä hetkellä käytössä kiinteää voiteluainetta sisältävään tikkuun ja nestemäisen voiteluaineen sumuttamiseen perustuvia laipanvoitelulaitteita. Sumutukseen perustuissa laitteissa käytetään sekä öljyä että rasvaa riippuen voitelulaitteen mallista. Rasvaa käyttävissä voitelulaitteissa käytetään biohajoavaa Locolub NSB-voiteluainetta (28). Locolub NSB on nopeasti biologisesti hajoava puolijuokeva rasva. Sen pohjana on käytetty synteettistä esteriöljyä. Käyttölämpötila rasvalla on välillä -45... +100 °C. (29)

4.5 Voitelun hyödyt

Kiskojen ja pyörien kestoa voidaan pyrkiä pidentämään useilla tavoilla. Kovempia materiaaleja käyttämällä saadaan lisättyä molempien kestoa. Pyörä ja kisko kuluvat periaatteessa yhtä paljon, jos ne ovat samasta materiaalista valmistettuja. Kontaktin toisen osapuolen materiaalin koventaminen johtaakin toisen osapuolen nopeampaan kulumiseen (30). Parempia tapoja hakea lisää elinikää pyörille ja kiskoille on puuttua niiden väliseen kontaktiin. Kontaktiin vaikuttavat ajodynamiikka, kiskojen ja pyörien profiilit sekä niiden välinen kitka. Telien rakenteella sekä riittävällä kiskojen hionnalla ja pyörien sorvauksella voidaan vaikuttaa kosketukseen niin, että kulumisen kokonaisuudessaan vähenee. Voitelulla voidaan vähentää kontaktissa vallitsevaa kitkaa. Kiskojen voitelu pidentää pyörien elinikää ja toisin päin.

Vaikka voitelusta hyötyvät molemmat osapuolet, on maailmalla ollut ongelmia siitä, että kiskoista ja kalustosta vastaavat usein eri tahot. Yhteistyö radasta ja kalustosta vastaavien kesken ei aina onnistu parhaalla mahdollisella tavalla. (31) Lisäksi voi ilmetä tilanne, jossa esimerkiksi kalustosta vastaavalle taholle vetureihin kiinnitettyjen voitelulaitteiden annostuksen kasvattaminen ei tuo enää mitään taloudellisia hyötyjä pyörien kulumisen vähentymisenä, mutta lisää kuluja lisääntyneen voiteluaineen kulutuksen ja likaantumisen muodossa. Suuremmasta voiteluannostuksesta voi kuitenkin olla hyötyä kiskojen kulumisen kannalta. Kalustopuolella isommasta voiteluannostuksesta syntyvät tappiot saattavat olla pienemmät kuin ratapuolella siitä saatavat hyödyt. Näin saattaa syntyä tilanne, jossa ilman yhteistyötä ei päästä kokonaisuuden kannalta järkevimpään ratkaisuun.

Koska junassa mukana kulkevasta voitelulaitteesta on hyötyä myös muille kuin voitelevalle junalle, on Englannissa, missä on kilpailevia operaattoreita, jopa mietitty, että operaattoreita, joilla on junissaan voitelulaitteet, pitäisi hyvittää kiskoille koituneesta hyödystä. Toisaalta operaattorit, joilla ei ole voitelulaitetta hyötyvät myös toisen operaattorin voitelusta, joten heille on ehdotettu maksua saadusta hyödystä (32).

Kiskojen ja pyörien kulumisen vähentymisestä ei synny säästöjä ainoastaan säästyneinä materiaaleina. Pienentynyt tarve kiskojen hiontaan, pyörien sorvaukseen sekä niiden vaihtoon, vähentää huoltoon tarvittavia työtunteja ja lisää kaluston ja

kiskojen käyttöastetta. Voitelu säästää myös liikkumiseen tarvittavaa energiaa ja lisäksi laippakosketuksesta aiheutuva melu vähenee. Myös suistumisriski pienenee, koska laippa ei kiipeä alentuneen kitkan vuoksi niin helposti kiskon päälle (26).

4.5.1 Voitelun vaikutusten mittaaminen

Kulumiseen vaikuttavien tekijöiden vaikutuksen mittaaminen ei ole helppoa sillä tekijöitä on paljon. Monet ympäristöstä riippuvat tekijät vaikuttavat kiskojen kitkaan ja tätä kautta kulumiseen. Kulumiseen vaikuttavia ympäristötekijöitä ovat ainakin ilmankosteus, ilman lämpötila, kiskojen lämpötila, kiskoille joutuneet lehdet, ilman saasteet ja muut kiskoille joutuneet epäpuhtaudet. Kaluston ominaisuuksista kiskojen kulumiseen vaikuttavat ainakin junien nopeus, pituus ja paino. Lisäksi pyörien profiilit, telin rakenteet ja niiden kunto sekä liikenteen määrä vaikuttavat kiskon kulumisnopeuteen. Myös radan geometrialla ja kunnolla on suuri vaikutus.

Ilmankosteuden ja ilman lämpötilan vaihteluilla on huomattava vaikutus kulumiseen. Kiskojen pinnalle tiivistyvä tai satava vesi muodostaa luonnollisen voitelukalvon. Tiivistynyt vesi saattaa muodostaa jopa paksumman voitelukalvon kuin vesisade. Lisäksi tiivistyneessä vedessä voi syntyä kemiallisia reaktiota kiskon ja ilmassa olevien ainesosien kanssa, jolloin kitka on todella matala (33). Vesi saattaa lisäksi suojella kiskoa, koska se absorboi energiaa höyrystyessään kuluttaen näin osan kosketuksessa syntyvän energian voimasta. Täten kosketuspinnat pysyvät viileämpinä (34).

Kun halutaan mitata kiskojen tai pyörien kulumista ja selvittää jonkin tekijän vaikutusta tulokseen, pitäisi pystyä toteuttamaan sellainen koejärjestely, jossa muut vaikuttavat tekijät pysyvät vakiona ja vain tutkittava suure muuttuisi. Tällaisen koejärjestelyn suunnittelu ja toteuttaminen on vaikeaa ja vähintäänkin kallista. Vaikka ympäristöstä johtuvien tekijöiden vaikutuksen oletettaisiin pidemmällä seurantajaksolla tasoittuvan, niin jäljelle jää kalustosta ja sen käytöstä aiheutuvat muuttujat.

Kuluminen on myös hidasta ja tutkimuksen seuranta-ajat tämän vuoksi pitkiä. Tutkimukset kestävät usein vuosia. Tutkimuksia pidentää myös se, että voitelun vaikutus kulumisnopeuteen alkaa näkyä viiveellä. Ennen tutkimuksen aloitusta pyörien laippojen ja kiskojen pinta on karkeampaa kuin tilanteessa, johon päädytään voidelluilla kiskoilla ja pyöränlaipoilla. Aluksi nämä karhentumat kuluvat pois ja vasta kun pinnat ovat tasoittuneet lopulliseen tilanteeseen, saadaan selville uusi kulumisnopeus. (22)

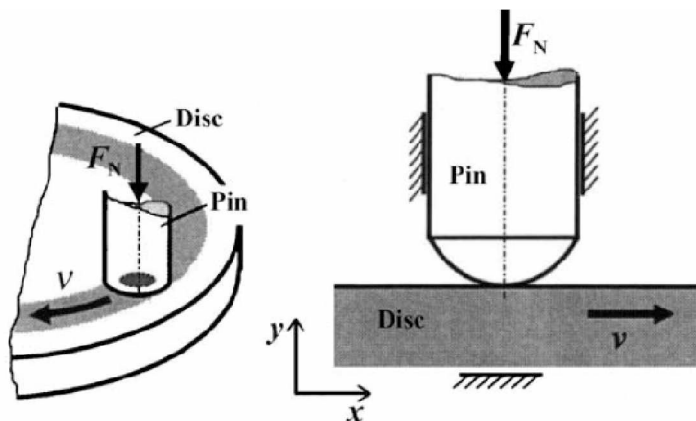
Voitelun vaikutusta kiskon kulumaan mitattaessa pitää pystyä seuraamaan kiskoja, joilla kulkeva kalusto on samanlaista koko tutkimuksen ajan. Sen pitää olla siis teleiltään, pyöriltään, kuormaltaan ja nopeuksiltaan vakioita. Tällaisia olosuhteita löytyy lähinnä erillisiltä testiradoilta tai metro/lähijunareiteiltä. Testiratoja on käytetty voitelun tutkimiseen ainakin Amerikassa ja Japanissa.

Pyörien kulumaa mitatessa pitää valita riittävän suuri otos vetureita, joista voidaan muodostaa ryhmiä, joiden voitelulaitteet säädetään eri annostuksille tai käyttämään eri voiteluainetta. Vetureiden pitäisi liikkua samanlaisia reittejä ja vetää samanlaisia kuormia. Pyörien hitaasta kulumisesta johtuen tutkimusajat ovat varsin pitkiä. Tällaisten koejärjestelyjen toteuttaminen tulee kalliiksi, koska kalustoa ei pystytä käyttämään tehokkaasti. Pyörien kulumisen mittausta vaikeuttaa myös se, että

ympäriyönnit, lukkojarrutukset tai muut pyörään kohdistuvat hetkelliset rasitukset saattavat aiheuttaa pyörävian, joka vaatii sorvauksen. Tällöin tutkimusaineisto sorvattavien pyörien kohdalta menetetään. Veturissa joudutaan sorvaamaan lisäksi useampi pyöräkerta kerralla, jotta vetävien pyörien halkaisija pysyy samana.

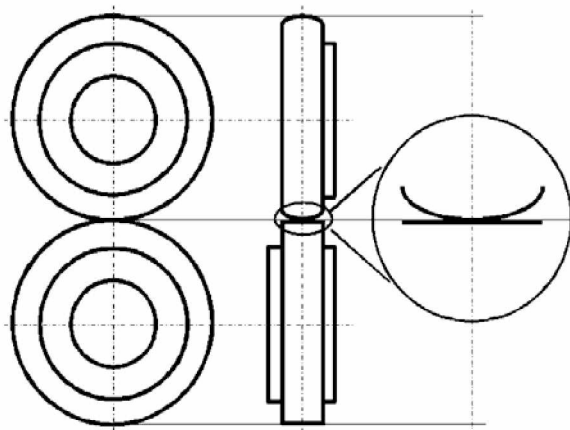
Rautatieympäristössä tehtäviin tutkimuksiin liittyvien kulujen ja ongelmien vuoksi kulumistutkimusta on pyritty tekemään laboratoriokokein, jos vain mahdollista (35). Varsinkin erilaisten voiteluaineiden vaikutuksia kulumiseen on tutkittu paljon laboratoriokokeilla. Tutkimuksia on tehty ainakin Ruotsissa (36)(21), Venäjällä (35) ja Amerikassa (37).

Laboratorioissa voidaan käyttää erilaisia tutkimusympäristöjä pyörän ja kiskon välisen kontaktin simulointiin. Puhdasta luistoa sekä yhtäaikaista luistoa ja pyörimistä simuloidaan erilaisilla laitteistoilla. Laippakosketuksessa tapahtuvan puhtaan luiston simulointiin voidaan käyttää pin-on-disk -menetelmää, jolla voidaan tutkia, kuinka luiston nopeus vaikuttaa kulumiseen. Pin-on-Disk -menetelmässä kiskon materiaalista valmistettua puikkoa painetaan pyörän materiaalista valmistettua pyörivää kiekkoa vastaan. Kuvassa 29 on laitteen toimintaperiaatetta havainnollistava piirros. (14)



Kuva 29. Pin-on-Disk-laite, jolla simuloidaan laippakosketuksessa tapahtuvaa kulumista. (14)

Yhtäaikaista pyörintää ja luistoa, eli ryömintää, voidaan tutkia two-roller-menetelmällä, jossa kaksi rullaa pyörii toisiaan vasten. Rullien pyörintäakselit ovat samansuuntaiset. Kosketus olisi muuten puhdasta luistamatonta rullauskosketusta, mutta rullien halkaisijat eroavat aavistuksen toisistaan, jolloin kosketukseen saadaan mukaan myös pieni määrä luistoa. Kuvassa 30 on tilannetta havainnollistava piirros. (14)

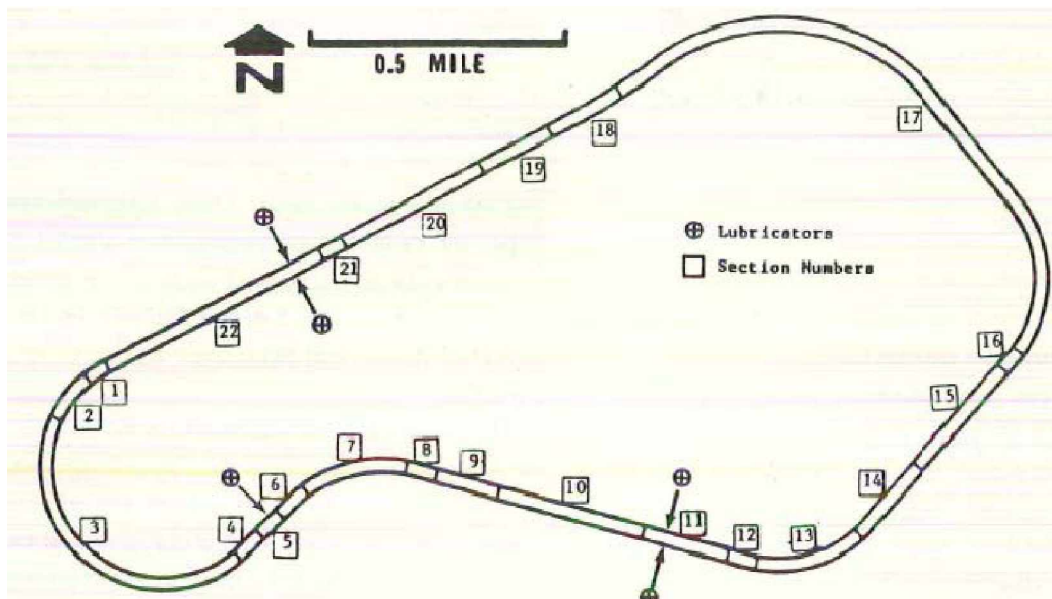


Kuva 30. Two-roller-koemenetelmän periaate. (14)

Laboratoriossa tehdyissä kokeissa kuluttava kuormitus on yleensä jatkuvaa ja tasaista. Todellisuudessa taas juna jarruttaa, kiihdyttää ja sen pyörien lämpötila ja rasitus vaihtelevat. Tuloksien oikeellisuutta arvioidessa voidaan käyttää arviointiperusteena esimerkiksi sitä, vastaavatko kokeessa saadut kulumismekanismit todellisuudessa esiintyviä. Ongelmaksi jää kuitenkin aina se, kuinka hyvin saadut tulokset ovat siirrettävissä todelliseen rautatieympäristöön. (35)

4.5.2 Kenttätutkimuksia voitelun vaikutuksesta kiskon kulumaan

Vaikka todellisessa rautatieympäristössä tehtävät kulumistutkimukset ovat kalliita ja hitaitakin, on niitä tehty eri puolilla maailmaa. Monia kulumiseen liittyviä tutkimuksia on tehty Association of American Railroads:n (AAR) Facility for Accelerated Service Testing (FAST) -koeradalla, jonka mallipiirros on kuvassa 31. Vuonna 1983 siellä aloitettiin tutkimus, jonka tarkoituksena oli tutkia muun muassa voitelun tehokkuutta ja erilaisten rasvojen soveltuvuutta kiskojen voiteluun. (38)



Kuva 31. AAR:n FAST-koerata.(38)

Jyrkimmät kaarteet testiradalla olivat säteeltään noin 350 metriä, raiteita oli kallistettu 100 millimetriä ja junan nopeus oli noin 70 km/h. Voiteluaine levitettiin radalle kiinteästi asennetuilla voitelulaitteilla. Näissä olosuhteissa saatiin tutkittua voitelun vaikutusta kiskon kulumiseen erilaisilla voiteluainemäärillä.

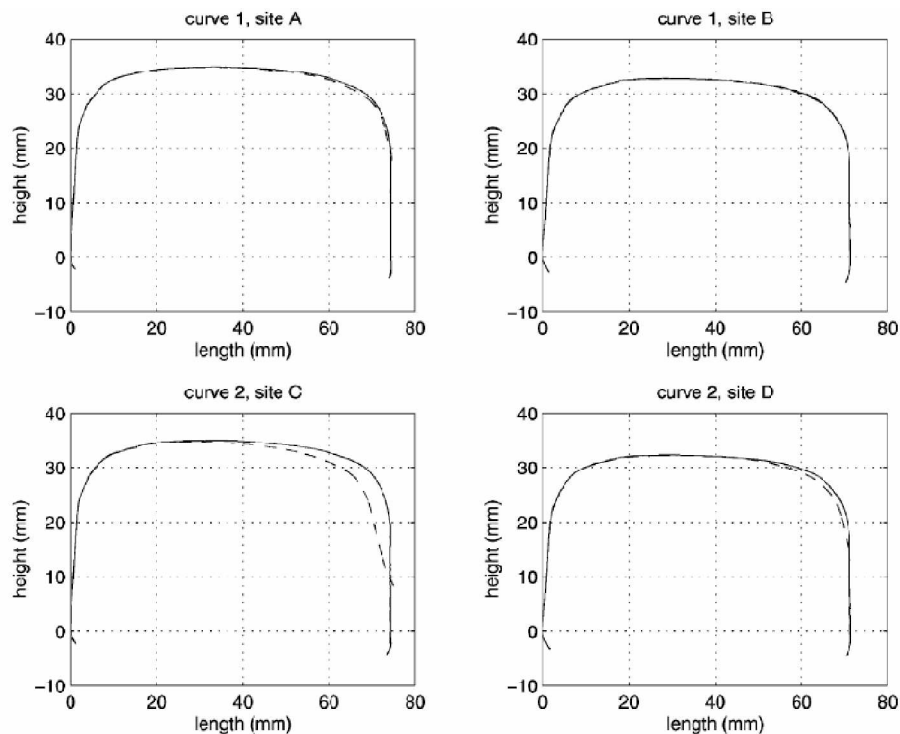
Käytössä olleen standardikiskon kulumisen oli viisi kertaa vähäisempää jo pienellä voitelulla, ja kun voitelun määrä oli kesinkertainen tai suuri, kohosi kiskon kesto 17- ja 78-kertaiseksi verrattuna voitelemattomaan tilanteeseen. Tuloksissa pääteltiin, että heidän käyttämänsä standardikiskon kulumiskestoikä saatiin voitelulla nousemaan niin korkeaksi, että kiskon eliniän kannalta ratkaisevaa ei ollutkaan kulumisen, vaan väsymisestä johtuvat tekijät aiheuttivat tarpeen vaihtaa kisko uuteen, ennen kuin kuluma oli kasvanut liian suureksi.

AAR:n tutkimuksissa verrattiin myös kovemman kiskon kulumista voidelluissa olosuhteissa verrattuna standardikiskoon. Kun parempi kisko kesti voitelemattomissa olosuhteissa 2,5 kertaa paremmin kuin standardikisko, niin voidelluissa olosuhteissa ero pieneni vain 1,7- ja 1,2-kertaiseksi voiteluaineen määrästä riippuen. Näissä luvuissa oli kuitenkin kyse vain kulumisesta, eikä väsymisestä johtuvia eroja huomioitu. Näin ollen hyvin toteutettu voitelu saattaa vähentää tarvetta käyttää erikoiskiskoja kovan kuormituksen kohteissa.

Ruotsissa Älvsjön ja Lännan kaarteissa tehtiin 2000-luvun vaihteessa tutkimuksia voitelun ja kiskomateriaalin vaikutuksista kulumiseen ja kiskon pinnan muutoksiin. Kokeilla haluttiin myös saada tutkimusmateriaalia, jonka tuloksia voitaisiin verrata laboratoriokokeisiin, jotta niiden luotettavuutta voitaisiin tulevaisuudessa kehittää. Kokeet suoritettiin matkustajajunaradalla, jossa liikenne oli miltei täysin yksisuuntaista. Kalustona radalla toimi kahden tyyppisiä junia, X1 ja X10, ja niiden vauhti oli tutkittavissa kaarteissa keskimäärin 75 km/h. Tutkimuksiin valittiin neljä kaarretta, joilla jokaisella voiteluolosuhteet ja kiskomateriaalit vaihtelivat. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin, kuinka uuden ja vanhan kiskon kulumisen eroa toisistaan.

Voitelulaitteet olivat joko kytkettynä päälle tai pois, ja kiskoina käytettiin joko UIC 900 tai UIC 1100 -kiskoa. (14)(15)

Voitelun huomattiin vaikuttavan tutkimuksissa eritavalla eri kiskomateriaaleihin. Kovempi UIC 1100 -kisko kului oletetusti vähemmän kuin pehmeämpi, UIC 900, samoissa voiteluolosuhteissa. Molempiin kiskomateriaaleihin syntyi yhtä paljon säröjä, mutta UIC 1100 -kiskot olivat herkempiä säröjen kasvulle. Voitelun havaittiin myös vähentävän säröjen kasvua tai jopa poistavan ongelman kokonaan. Syynä tähän epäiltiin olevan voitelun vuoksi pienentyneet voimat pyörän ja kiskon kontaktialueella. Kuvassa 32 nähdään profiilimittauksen tuloksia. Kuluma on merkattu katkoviivalla. Alarivillä on voitelemattoman kaarteiden mittaustulokset, joista näkyy, että kuluma on huomattavasti suurempaa voitelemattomilla kiskoilla kuin ylärivin voidelluilla. Vasemman puoleiset kuvat ovat mittaustulokset kohdasta, jossa oli UIC 900 -kiskoa ja oikean puoleiset kuvat kohdasta, jossa oli UIC 1100 -kiskoa.



Kuva 32. 16 kuukautta vanhojen kiskojen profiilien kulumia. Yläriivi: voideltu, kaarresäde 346 m. Alarivi: voitelematon, kaarresäde 303 m. Vasemmanpuoleiset UIC 1100 -kiskoa, oikeanpuoleiset UIC 900 -kiskoa. (14)

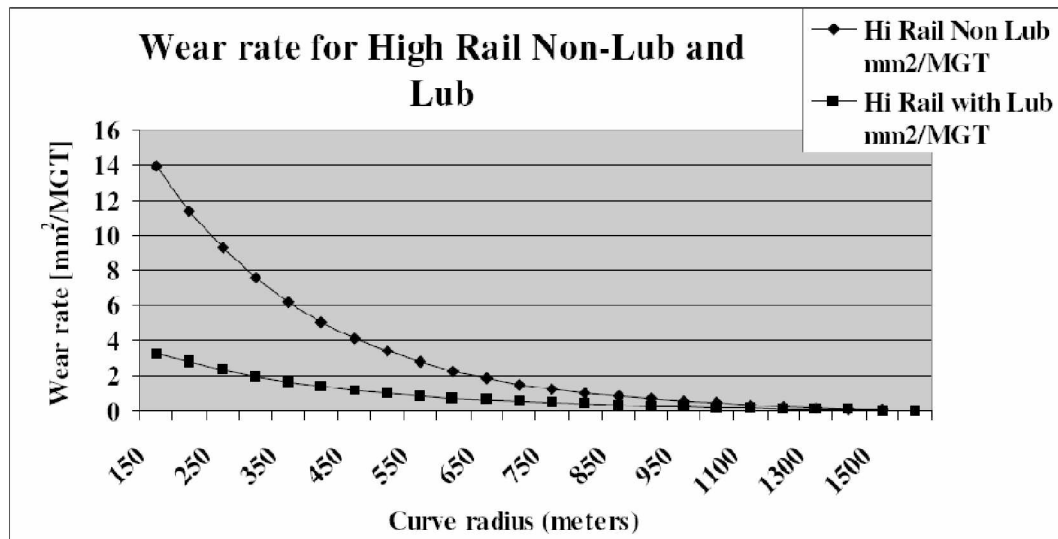
Tutkimuksessa, jonka mittaukset suoritettiin vuosien 1997 ja 1998 aikana Ruotsissa, seurattiin kulumaa kuudessa kaarteessa, joiden kaarresäteet olivat 293 metrin ja 590 metrin välissä. Tutkimuksen tuloksena selvisi, että kuluma oli 16–21 kertaa pienempää kesäaikana kuin talvella, jolloin voitelulaitteet olivat poissa käytöstä. Talvisin junan ilmapirrassa kiskoille pölyävän lumen, ja siitä kosketuksen paineessa sulavan veden, on ajateltu toimivan voiteluaineena. Talvisin voiteleva vesi vähentää kulumaa huomattavasti verrattuna kuivaan kiskoon, mutta koe osoitti voitelulaitteen käytön vähentävän kulumaa edelleen merkittävästi lumen voitelemaan verrattuna.

Lumen pölyäminen on keväisin lisäksi vähäistä, koska hankien pinta sulaa ja jäätyy kovaksi. Eli tutkimuksen perusteella vaikuttaisi oletamus pölyävän lumen voitelevasta vaikutuksesta olevan väärä tai ainakin puutteellinen. Tutkimuksessa selvisi myös, että kuluma 50 metrin päässä voitelulaitteesta oli noin kaksikertainen verrattuna kulumaan viiden metrin päässä laitteesta. (25)

Lontoon metroverkostossa parannetulla voitelulla saavutettiin huomattavia hyötyjä 200–250 metrin kaarresäteisten kaarteiden kiskojen kestossa. Siellä avattiin uusi linjaosuus 1999 joulukuussa. Vuosi tämän jälkeen käynnistettiin projekti, jolla piti saada pidennettyä kaarteissa olevien kiskojen elinikää. Kiskojen kulumisen oli epätasaista, ja joidenkin osuuksien kiskot kestivät vain 18 kuukautta. Käytössä olivat jo voitelulaitteet, mutta ne eivät toimineet kunnolla. Voitelua parantamalla kiskojen elinikä saatiin nostettua 18 kuukaudesta kahdeksaan vuoteen. (39)

Vaikka voitelu pienentää kiskojen kulumista huomattavasti, on sillä havaittu joissakin tutkimuksissa myös haittavaikutuksia. Kulumisen pienentymisestä johtuen materiaalin väsymisestä johtuvat säröt eivät kulu pois, vaan jatkavat kasvuaan kohti kiskon sisäosia (40)(38). Tällöin niistä saattaa muodostua vaara turvallisuudelle ja ne joudutaan hiomaan pois, jolloin menetetään paljon materiaalia. Voiteluaine saattaa jopa nopeuttaa säröjen kasvua, koska särön sisällä oleva voiteluaine levittää säröä, kun voiteluaine aiheuttaa hydraulisen paineen pyörän kulkiessa särön yli (30). Painetta ei tosin aiheudu vain voiteluaineesta, vaan myös kiskon päällä oleva vesi aiheuttaa saman ilmiön. On ehdotettu, että kiskoista pitäisi hioa ohut, materiaaaliltaan väsynyt kerros pois tasaisin väliajoin, jotta halkeamat eivät pääsisi etenemään. Näin voitaisiin saavuttaa mahdollisimman pitkä elinikä kiskoille. Tällainen ehkäisevä hionta tulisi kuitenkin niin kalliiksi, että se ei ole järkevää. Yksi vaihtoehto on, että voiteluolosuhteet säädetään sellaisiksi, että kulumisen etenee juuri sopivalla nopeudella, poistaen väsyneen metallin ennen säröjen kasvua. (41)

Kaarresäteen suuruudella on suuri vaikutus kulumisnopeuteen. Kuvaaja 1 on Nillsonin vuonna 2002 julkaisemasta tutkimuksesta. Siinä on esitetty eri kaarresäteisten ulko-kaaren kiskojen kulumisen voideltuna ja voitelemattomana. Voitelusta ei kuvaajan mukaan ole hyötyä enää kovinkaan paljon yli 800 metrin kaarteissa.



Kuvaaja 1. Kulumisnopeus ulkokaarteen kiskolla eri kaarresäteillä, voideltuna ja voitelemattomana. (41)

4.5.3 Tutkimuksia voitelun vaikutuksesta pyörien kulumaan

Latviassa on tutkittu voitelun vaikutusta laipan kulumisvauhtiin ja mahdollisuuksia ennakoida pyörien kulumaa. Operaattorille ei ole tärkeää ainoastaan mahdollisimman pieni kuluminen vaan myös se, että kulumisvauhti on ennakoitavissa, jotta huollot ja varastot osataan sovittaa tehokkaasti. Latviassa tutkittiin vetureiden pyörien kulumista seuraamalla kolmen samanlaisen veturin pyörien kulumista. Kahdessa veturissa ei ollut voitelulaitetta ja yhdessä oli öljyä sumuttava laipanvoitelulaite. Veturien pyörien kulumista mitattiin kuukausittain. Veturia käytettiin samoilla rataosuuksilla ja niillä vedettiin yhteneviä kuormia, jotta saadut tulokset olivat vertailukelpoisia. (42)

Latvialaisen tutkimuksen tulos oli, että laipan kuluma on pyörien iän määrittävä tekijä. Sen kulumanopeus oli noin kaksinkertainen kulkukehän kulumisnopeuteen nähden. Voitelun avulla voitiin lisätä pyörän ikää vähintään 1,3-kertaiseksi. Ilman voitelua pyörä kesti $160\,000 \pm 3000$ km ja voitelun avulla $210\,000 \pm 4000$ km. Koska vetureita oli tutkimuksessa käytössä vain kolme, ei tutkimuksen tuloksia voi pitää kovin luotettavana.

4.5.4 Voitelun vaikutus energiankulutukseen

Amerikassa kiinnostus laippakontaktin voiteluun lisääntyi, kun huomattiin sillä olevan huomattavaa vaikutusta energian kulutukseen. AAR:n tutkimuksissa energian kulutus väheni 32 prosenttia voidelluilla kiskoilla verrattuna voitelemattomiin kiskoihin. Voitelu oli päällä sekä kaarteissa että suorilla osuuksilla. (38) Toisessa Amerikassa tehdyssä tutkimuksessa saatiin kalustoon asennetulla laipanvoitelulaitteella energiansäästöä vuoristoisella ja mutkikkaalla radalla 0,5 prosenttia ja tasaisella radalla 11 prosenttia (22). Kolmannessa tutkimuksessa energian säästöksi saatiin viisi prosenttia tasaisella ja suurimmaksi osaksi suoralla radalla (43).

Amerikkalaisilla rautateillä olosuhteet ovat kuitenkin Suomesta poikkeavat. Siellä käytetään suurempia akselipainoja ja raideleveyskin poikkeaa suomalaisesta. Amerikassa käytettävien telien rakenteen vuoksi, niiden laipat osuvat kiskoon usein myös suorilla osuuksilla. Tästä syystä laippakosketukseen kuluva energia on siellä suurempaa eikä Suomessa saavuteta yhtä suuria energian säästöjä voitelun avulla. Laippakontaktin voitelun vaikutusta energian kulutukseen on mitattu Kanadassa GPS:n avulla vertaamalla energian kulutusta samalla reitillä voitelun ollessa päällä ja pois päältä (44). Suomessakin voitaisiin selvittää mahdollisuudet energian säästöihin, jos jostain junasta saataisiin tallennettua energian kulutus eri aikoina, jolloin ne voitaisiin yhdistää sijaintitietoon.

4.5.5 Voitelun vaikutus kaarremeluun

Kaarremelu saattaa olla huomattava ongelma alueilla, joissa rata kaartaa asutuksen lähellä. Kaarremelun syntyyn vaikuttavista tekijöistä merkittävimpiä ovat laippakosketuksesta aiheutuva ääni ja kiskon selän ja pyörän kontaktista johtuva ulvonta. Laippakosketuksesta syntyvä ääni on taajuudeltaan 5000–10000 Hz ja kiskon selän ja pyörän vuorovaikutuksesta syntyvä ääni 1000–5000 Hz (45). Laipan voitelulla voidaan ensimmäistä näistä pienentää, mutta jotta myös 1000–5000 Hz taajuudella olevaa ääntä voitaisiin vähentää, pitäisi myös kiskon selän kitkakerrointa muuttaa.

Kiskon selän voitelu/kitkanhallinta on viime aikoina ollut tutkimuksen alla ja on kehitetty tuotteita, joilla kiskon selälle saataisiin aikaiseksi optimaalinen kitkakerroin. Kiskon selälle levitettävillä tuotteilla pyritään kitkakerroin saamaan välille 0,30–0,35 μ . Kiskon kulkureunalla kitkakerroin pyritään saamaan pienemmäksi kuin 0,25 μ . Kitkan hallinnan avulla voidaan vähentää melun lisäksi energian kulutusta, kiskon kulumista ja kiskoon kohdistuvia voimia. (44)

4.6 Kulkureunan kitkakertoimen mittaaminen ja tavoitearvot

Jotta voitelua voidaan säätää halutuksi, pitää olla keinot mitata kiskon kitkakertoimia ja olla arvot joihin pyritään. Voitelun mittaaminen ei ole aivan yksinkertaista. Kiskon kitkakertoimen mittaamista varten on suunniteltu kitkanmittauslaitteita. Kitkan mittaamiseen vaikuttaa kuitenkin monia tekijöitä, joten eri valmistajien laitteiden tulosten vertailukelpoisuus saattaa olla heikko. Saatavaan tulokseen vaikuttavat esimerkiksi voimat, joilla laitetta painetaan kiskoon (26). Kitkanmittauslaitteiden kohdalla pitääkin tietää, mitä mittaa ja kuinka se on vertailtavissa. Kitkanmittauslaitteita on olemassa sekä käsimittaukseen että ajoneuvoon kiinnitettäväksi sopivia malleja. Käsikäyttöiset kitkanmittauslaitteet sopivat tutkimuskäyttöön, mutta ovat luonnollisesti huonoja laajemmassa seurannassa. (46)(47)(48)

Myös voiteluainekerroksen paksuutta voidaan mitata, jotta tiedetään onko voiteluainetta levinnyt riittävästi koko kaarteeseen matkalle ja oikealle kohtaa kiskoa. Mittaus voi tapahtua esimerkiksi kokeilemalla, kuinka moneen teipin palaan voiteluainetta samasta kohtaa tarttuu. Liitteessä 1 on havainnollistettu menetelmää. Se ei kuitenkaan kerro, kuinka suuri kitkakerroin kiskolla vallitsee. (38)

Etelä-Afrikassa voitelun toimivuutta seurataan silmämääräisesti. Visuaalisen tutkimuksen apuna käytetään taulukkoa, jossa on määritetty kriteereitä, jotka voiteluaineen leviämisen pitää täyttää sekä kitkakertoimia, jotka tilanteessa todennäköisesti vallitsevat. Voiteluaine levitetään siellä kiskoille kiskoilla kulkevalla voiteluautolla. Taulukosta 1 näkee, että tavoitekitkakerroin on Etelä-Afrikassa 0,15–0,2 μ . Silmämääräisen tutkimisen yksi ongelma on tuloksen riippuvuus tarkastajasta.

Taulukko 1. Etelä-Afrikassa voitelun seurannassa apuna käytettäviä arvoja. (47)

Classification	Coefficient of friction	Description
Dry	0.35 to 0.57	No grease on wear face
Poor	0.30 to 0.35	Lubricant on 10 to 40 per cent of the wear face
Acceptable	0.25 to 0.30	Lubricant on 40 to 60 per cent of the wear face. Metal still visible through lubricant
Average	0.20 to 0.25	Lubricant on 60 to 90 per cent of the wear face. Grease sticky and thick
Good	0.15 to 0.20	Lubricant on 100 per cent of the wear face. Grease still fresh and wet
To much	<0.15	Gauge face and rail head covered by a film of lubricant

Laipan voitelua koskevassa standardissa suositellaan, että kiskon kulkureunan kitkakertoimen arvo olisi pienempi kuin 0,1 μ . Hyväksyttävänä arvona standardissa pidetään arvoja, jotka ovat pienempiä kuin 0,25 μ . (26) Standardin suosittelemaa arvoa < 0,1 μ , löytyy myös osasta muista lähteistä (44), mutta Amerikassa tehdyssä tutkimuksessa on toisaalta havaittu, että < 0,15 μ -arvolla ei saavuteta enää huomattavia hyötyjä (40). Liian suuri voitelu lisää riskiä voiteluaineen kulkeutumisesta kiskon selälle, joten ei liene järkevää pyrkiä mahdollisimman pieneen kitkakertoimeen.

4.7 Voitelun toimivuuden varmistaminen

Monissa maissa laippakontaktin voitelun on katsottu olevan niin tärkeää, että sen toimivuuden varmentamiseksi on suunniteltu menetelmät, joilla seuranta ja kehittäminen onnistuvat. Esimerkiksi Amerikkalainen Conrail-rautatietähtiö päätti suunnitella ja aloittaa voitelun seurannan ja käyttää siihen kokonaisvaltaisen laadunhallinnan mallia (TQM) (22). He keskittyivät kehittämään menetelmiä, joilla voitelun tilaa ja tuloksia pystyttiin kvantitatiivisesti mittaamaan ja näin kehitystä luotettavasti seuraamaan. Tärkeää oli myös havaita ja korjata mahdollisia esteitä voitelulle sekä kouluttaa henkilökuntaa, joka oli tekemisissä voitelun ja voitelulaitteiden kanssa.

Toimivan voiteluohjelman kehittäminen ei ole helppoa. Voitelulaitteiden toimintaan tehtävät muutokset eivät näy heti, vaan pinnankarheuksien pitää ensin tasoittua (22). Kiskon pinnan karheudella on merkitystä kitkaan, ja voiteluainetta tarvitaan enemmän karhealla pinnalla. Voitelun parannuttua kiskon ja pyörien pinnat tasoittuvat ja kitka pienenee. Myös voiteluaineen tarve muuttuu. Rautatie on järjestelmä, joka vaatii voitelun aloitushetkellä enemmän voiteluainetta, mutta kun aikaa kuluu, voiteluaineen tarve laskee. Rautatiejärjestelmässä ilmiö ei ole kuitenkaan niin suuri kuin suljetussa systeemissä, kuten metroverkossa. Voitelun toimintaa pitää valvoa jatkuvasti, jotta pinnat eivät pääse karkenemaan uudelleen.

Koska voitelun onnistumisen seuraaminen kitkanmittauslaitteella on työlästä, on voitelun tehokkuutta yritetty mitata myös epäsuorasti. Junien energian kulutuksen seuraamista ja kiskojen lämmön nousua junan ohittaessa on tutkittu. Tulokset ovat olleet kuitenkin melko huonoja (22)(47). Paremmiin toimivia mittareita ovat olleet pyörien kulumisen seuranta ja voiteluaineiden kokonaiskulutuksen seuranta. Myös silmämääräisellä tarkastuksella päästään melko tarkkoihin tuloksiin sen jälkeen, kun kitkanmittauslaitteella on selvitetty, miltä kisko näyttää milläkin kitkakertoimella. (22)

4.8 Voitelun ongelmat ja vaikutukset turvallisuuteen

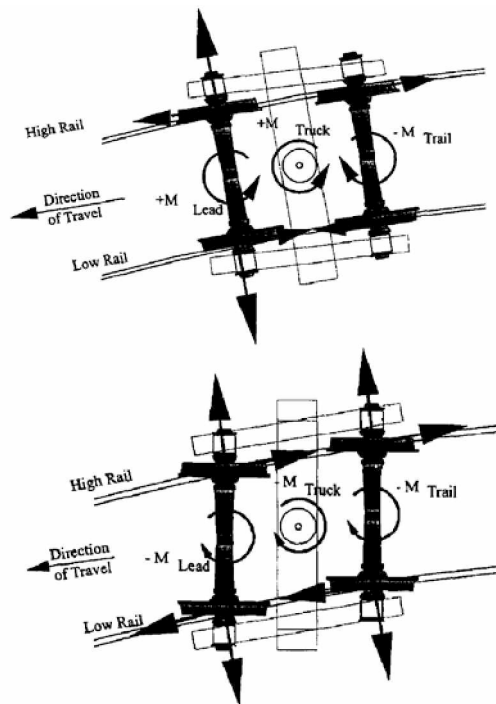
Laippakontaktin voitelua mietittäessä pitää ottaa huomioon, että huonosti suunniteltu voitelu saattaa aiheuttaa ongelmia. Suurentunut tulipaloriski, pidentyneet jarrutusmatkat ja junan suistuminen voivat olla seurauksia laippakontaktin voitelusta. Tulipaloriski koskee junaan asennettuja laipanvoitelulaitteita, joista saattaa roiskua voiteluainetta junan alustaan. Jos voiteluaine on vääränlaista ja voitelulaite on säädetty huonosti, lisää alustaan kertyvä voiteluaine tulipaloriskiä. Palamatonkin voiteluaine saattaa likaantuessaan muuttua palavaksi (33). Voitelulaitteiden pitää olla myös säädetty niin, että voiteluainetta ei pääse pyörän kulkukehän ja kiskon selän väliin, sillä silloin jarrutusmatkat pitenevät. Juniin kiinnitetyissä voitelulaitteissa tärkeää on sekä voitelusuuttimen oikea suuntaus että sopiva voiteluaineen annostelu.

Helsingin metrolla on havaittu, että väärään paikkaan joutunut voiteluaine pidentää jarrutusmatkaa. Syinä voiteluaineen joutumiseen kiskon selän ja pyörän kulkukehän väliin on ollut väärin kohdistettu rasvausvaunun suutin sekä sadekelit. Vesi kiskon pinnalla saa helposti rasvan nousemaan kiskon selälle. (49) Jarrutusmatkat eivät kuitenkaan rasvan vaikutuksesta alan yleisen käsityksen mukaan pitene moninkertaisiksi. Kiskon selän ollessa paksulta rasvan peitossa, voi jarrutusmatkojen olettaa pysyvän alle kaksinkertaisina.

Yhdysvalloissa laipanvoitelun on havaittu myös lisäävän suistumisriskiä (50)(40). Siellä käytettävän telityypin kulkuominaisuudet kaarteissa saattavat muuttua usean tekijän seurauksena sellaiseksi, että sivuttaissuuntaiset voimat kasvavat ja yrittävät levittää kiskojen etäisyyttä toisistaan. Tällöin kiskot saattavat kaatua, antaa periksi ja etääntyä toisistaan tai pyörät kiivetä pois kiskoilta. Kuvassa 33 havainnollistetaan telityypin kulkutapoja kaarteissa sen edetessä suunnitellulla ja vaarallisella tavalla. Suomessa samanlaista teliä on käytössä venäläisessä kalustossa.

Suistumiseen vaadittavia tekijöitä on viisi:

1. Vahva kaksipistekontakti
2. "Hollow wear" -kuluneet pyörät
3. Vahvasti hiottu kiskon kulkureunan kulma
4. Ulkokaarten puoleisen kiskon kulkureunan voitelu
5. Kuivat kiskon selät



Kuva 33. Venäläisen standardin mukaisen telin kulku kaarteessa. Vasemmalla puolella on suunniteltu kulkutapa ja oikealla puolella ei toivottu. (50)

Voitelulla on myös muuhunkin kuin turvallisuuteen liittyviä ongelmia. Väärään paikkaan päässyt voiteluaine vaikeuttaa liikkeellelähtöä ja saattaa aiheuttaa tätä kautta pyörä- ja kiskovikoja. Liian hyvä voitelu saattaa myös pienentää kulumisen niin pieneksi, että pyöriin ja kiskoihin ilmestyvät säröt eivät kulu pois vaan jatkavat kasvuaan. Voiteluaine saattaa myös kasvattaa säröjä, kun se jää laippakontaktin tapahtuessa särön sisään ja paineen noustessa levittää sitä (30).

Suuret määrät voiteluainetta kiskon pinnalla saattavat myös estää kiskon ultraääni-tutkimuksen (38). Ympäristöön joutunut voiteluaine rasittaa myös ympäristöä, vaikka olisikin biohajoavaa. Jos laippakontaktin voiteluun käytetään samalla rautatiellä useita eri voiteluaineita, saattaa syntyä ongelmia, jos ne eivät ole yhteensopivia. Voiteluaineet saattavat myös aiheuttaa ongelmia opastinjärjestelmälle tai radan virtapiireille. (26)

5 KÄYTÖSSÄ OLEVAT VOITELUMENETELMÄT

Laippakontaktin voiteluun on kehitetty monia menetelmiä, ja laitevalmistajia on useita. Voiteluainetta voidaan levittää kiskon kulkureunalle kiinteästi kiskoon asennetuista laitteista, sumuttaa voiteluaine liikenteessä olevien junien pyörän laipoille tai ajaa radalla huoltoajoneuvolla, joka voitelee kiskon kulkureunan halutuilta alueilta.

Yhtäkään menetelmistä ei voida sanoa paremmaksi kuin toista. Menetelmillä on omat hyvät ja huonot puolensa, ja toinen menetelmä saattaa olla jossain olosuhteissa parempi valinta kuin toinen. Valittaessa sopivaa voitelutapaa pitääkin ottaa huomioon esimerkiksi radan geometria, liikenteen tiheys ja rataverkon laajuus.

5.1 Kiinteästi rataaan asennettavat voitelulaitteet

Kiinteästi kiskoihin asennetut voitelulaitteet asennetaan yleensä voitelemaan jyrkkiä kaarteita. Ne koostuvat pumpusta, ohjainyksiköstä ja raiteeseen kiinnitettävästä voiteluainetta kiskon kulkureunalle levittävästä osasta. Kuvassa 34 on erään valmistajan kiskoon kiinnitettävä, voiteluainetta levittävä osa. Voitelulaite suositellaan sijoittamaan sellaiseen kohtaan, jossa laippakosketus alkaa ja on vielä voimiltaan kevyttä. Yhdellä voitelulaitteella saatetaan saavuttaa tehokas voitelu jopa kahdeksan kilometrin matkalle. Tämä edellyttää, että voitelulaitteet kattavat radan riittävän suurelta osuudelta ja radan geometria on optimaalinen. (41)(51)

Nykyaikaisia voitelulaitteita ohjataan elektronisesti ja niissä on mahdollista säätää, kuinka monen akselin välein voiteluainetta lisätään. Vuonna 2001 Ruotsissa oli käytössä noin 3000 kiinteästi asennettua voitelulaitetta (25). Suomessa on ilmeisesti käytössä neljä kiinteää laitetta. Yksi laitteista sijaitsee kaksisuuntaisesti liikennöidyllä raiteella Nikkilässä. Sillä pyritään voitelemaan raidetta 250 metriä molemmin puolin voitelulaitetta eli yhteensä 500 metrin matkalta.(17)



Kuva 34. Kiinteästi asennetun voitelulaitteen kiskon kulkureunalle voiteluainetta levittävä osa. (52)

Kiinteiden laitteiden hyviä ja huonoja puolia ovat:

- + Voiteluainetta voidaan pumpata koko junan ohituksen ajan, joten kaikki pyörät saadaan voideltua tehokkaasti.
 - + Voiteluainetta pystytään levittämään suuria määriä, jolloin kiskot ja pyörät kuluvat todella vähän voidellulla alueella.
 - + Radan kunnosta vastaavat yksiköt pystyvät säätämään laitteet havaintojensa mukaan ja voivat olla varmoja laitteiden toimintakunnosta.
 - + Voitelulaite voidaan sijoittaa voitelemaan ongelmalliseksi havaittuja kohteita.
-
- Kiinteitä voitelulaitteita vaaditaan paljon koko rataverkon kattamiseksi.
 - Laitteiden huoltamiseen ja täyttämiseen tarvitaan paljon työtunteja, koska laitteita on usein paljon ja ne ovat pitkien etäisyyksien päässä.
 - Voitelulaitteiden sijoittaminen oikeaan paikkaan on vaikeaa. Muutaman metrin muutos sijainnissa voi olla ratkaisevaa voitelutuloksen kannalta. Sijoitukseen vaikuttavat raidegeometrian lisäksi junien kulkudynamiikka ja ajonopeus. (22)
 - Lämpötilan vaihteluiden aiheuttama voiteluaineen viskositeetin muutos aiheuttaa huomattavia ongelmia voitelun toimivuudelle. Liian juokseva voiteluaine ei pysy kulkureunalla ja liian jähmeä ei tartu pyöriin (22).
 - Voiteluteho saattaa laskea hyvinkin nopeasti voitelulaitteesta etäännyttäessä (53)(25).
 - Kiinteät voitelulaitteet eivät toimi talvisin. Rasvan viskositeetti kasvaa ja rasva ei tartu. Lisäksi lumi peittää voitelulaitteen ja syntyy rasvan ja lumen seos. Ruotsissa voitelulaitteet ovat poissa käytöstä marraskuun ja huhtikuun välillä. (25)(17).
 - Voiteluaine on aiheuttanut ympäristöongelmia voitelulaitteen läheisyydessä (33). Nykyiset biohajoavat voiteluaineet ovat parantaneet tilannetta (17).
 - Voitelulaitteiden toiminnan varmentaminen on vaikeaa ja luotettavuudessa on ollut ongelmia. Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa vain 25 % voitelulaitteiden ruiskuttamasta voiteluaineesta päätyi oikeaan paikkaan, ja monet laitteet eivät toimineet ollenkaan (54).

- Tarvitsevat sähköä. Amerikassa on käytössä aurinkopaneeleita alueilla, joissa ei ole sähköä saatavilla. Suomessa aurinkopaneeli ei nykytekniikalla auta talvisin ilman merkittävää akkukapasiteettia.

5.2 Voiteluajoneuvo

Voitelu on mahdollista suorittaa myös erillisillä voiteluajoneuvoilla, jotka ajavat radalla ja ruiskuttavat voiteluainetta halutuilla alueilla kiskoille. Voiteluajoneuvona voi toimia esimerkiksi auto, joka pystyy nousemaan kiskoille tai perässä vedettävä kärky. Helsingissä metro- ja raitiovaunuverkosto voidellaan tällä menetelmällä. Helsingin metrossa voitelu suoritetaan kaksi kertaa viikossa. Rautatieolosuhteissa voitelutiheyden pitäisi todennäköisesti olla suurempi, koska junat ovat painavampia, vauhdit suurempia ja systeemi ei ole suljettu, joten voiteluaine ei kerry järjestelmään.

Helsingin metrossa voitelulaite työntää rasvaa ”makkaraksi” kiskon kulkureunalle, 13 millimetriä kiskon selästä alaspäin mitattuna. Liikenteessä olevien metrojen pyörät levittävät rasvan tasaiseksi kalvoksi. Voitelua suoritetaan metrolla 600–700 metrin kaarteisiin asti. Myös vaihteita voidellaan. (49)

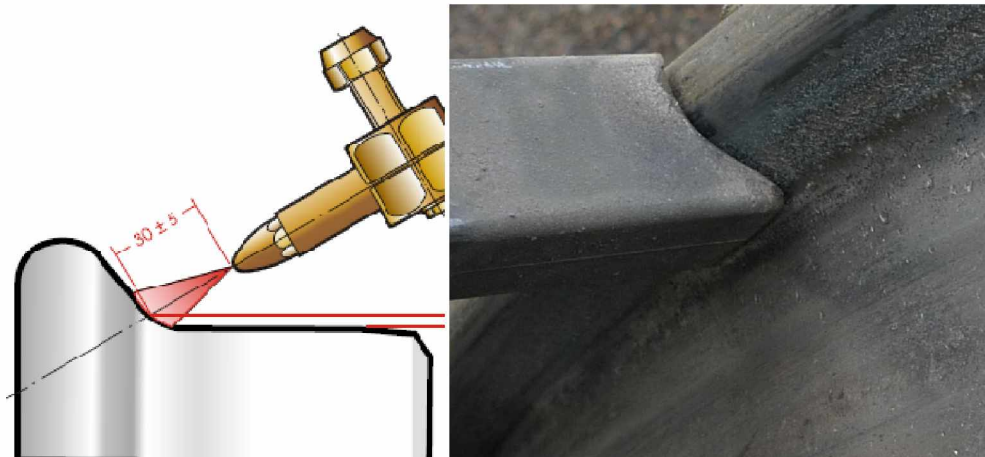
Voiteluajoneuvon hyviä ja huonoja puolia:

- + Voiteluajoneuvon voidaan asentaa tilaa vieviä ja monimutkaisia voitelulaitteita, joilla päästään hyvään voitelutulokseen. Voidaan käyttää esimerkiksi kovia paineita ja jäykkiä voiteluaineita.
- + Voiteluaine levittyy tasaisesti pitkälle alueelle ja voitelee näin yhtä hyvin koko kaarteiden alueen.
- + Onnistunut voitelutulos voidaan varmentaa voitelun yhteydessä.
- Työvoimakulut kovia
- Vaikea sovittaa voiteluaikaa radan muun liikenteen oheen
- Kallis käytettäväksi laajalla rautatieverkostolla

5.3 Liikkuvaan kalustoon kiinnitetyt voitelulaitteet

Normaaliliikenteessä kulkevissa vetureissa ja moottorivaunuissa käytetään laipanvoitelulaitteita ensisijaisesti laipan kulumisen pienentämiseksi. Laipanvoitelulaitteet ovat pakollisia 2002/735/EY komission päätöksen mukaan suurten nopeuksien kalustossa. Suurten nopeuksien kalustoksi määritellään ≥ 200 km/h kulkevat junat. Päätös ei koske kuitenkaan Suomessa käytettävää nopeaa kalustoa, koska ne on hankittu ennen päätöksen voimaan tuloa. Päätöksen mukaan voitelun on toimittava kaarteissa, joiden säde on 1200 metriä tai pienempi, ja tällöin pyörien siinä osassa, joka tulee kosketuksiin kiskon hamaran pyöristyksen kanssa, tulee olla yhtenevä voiteluainekalvo. Kaikki junan pyöräkerrat tulee suojata voitelun avulla. Voiteluainetta ei saa päätöksen mukaan joutua kiskon selän ja kulkukehän väliin, jotta jarrutusmatkat eivät pitene. (55) Liikkuvaan kalustoon kiinnitetyjä voitelulaitteita käytetään usein täydentämään rataa kiinteästi asennettuja voitelulaitteita (43).

Voitelulaitteita on kahta tyyppiä: öljyä tai rasvaa laipalle sumuttavia ja laippaa vasten painettavia voiteluainetikkuja. Kuvassa 35 ovat voitelumekanismien toimintaa havainnollistavat kuvat. Laipanvoitelulaitteet voitelevat yleensä kaluston liikesuuntaan nähden etummaista pyöräkertaa, koska se joutuu kovimmalle kulutukselle ja sille levitetty voiteluaine kulkeutuu kiskon kautta voitelemaan myös taempia pyöräkertoja.



Kuva 35. Voiteluaineen laipalle sumuttava laipanvoitelulaite (56) ja laippaa vasten jousella painettava voitelutikku.

5.3.1 Laippaa vasten painettava voitelutikku

Voitelutikut koostuvat voiteluaineesta ja sidosaineesta. Voitelutikkua painetaan jatkuvasti pienellä jousivoimalla pyörän laippaa vasten. Tikku kuluu hitaasti ja laipalle tarttuu tikusta ohut kerros materiaalia. Laippakosketuksen syntyessä sidosaine palaa pois ja voiteluaine jää voitelemaan laippaa. Kun laipan kylkeen on kertynyt riittävän paksu kerros tikun materiaalia, pienenee tikun ja laipan välinen kitkakerroin, jonka seurauksena tikun kulumisnopeus pienenee. Kun laippakosketus kiskoon tapahtuu jälleen kaarteessa, voiteluainetta palaa pois ja siirtyy kiskolle, jonka seurauksena laipan ja tikun välinen kitka kasvaa ja voiteluainetikku alkaa siirtää voiteluainetta laipalle nopeampaa tahtia. (33)

Voitelutikut ovat sisällä putkessa, jonka toisessa päässä on jousi ja toinen pää on avoin. Avoin pää on sijoitettu siten, että ulos pyrkivä tikku osuu laippaan. Uusia voitelutikkuja voidaan lisätä huollossa jousen puoleisesta päästä. Voitelutikut on muotoiltu siten, että vanha ja uusi tikku menevät osittain sisäkkäin, jotta tikuista muodostuu jatkuva rakenne. Näin laippaa vasten pysyy jatkuvasti laipan profiilin muotoon kulunut pää ja tikkujen vaihtuessa uuden tikun pää on valmiiksi oikean muotoinen.

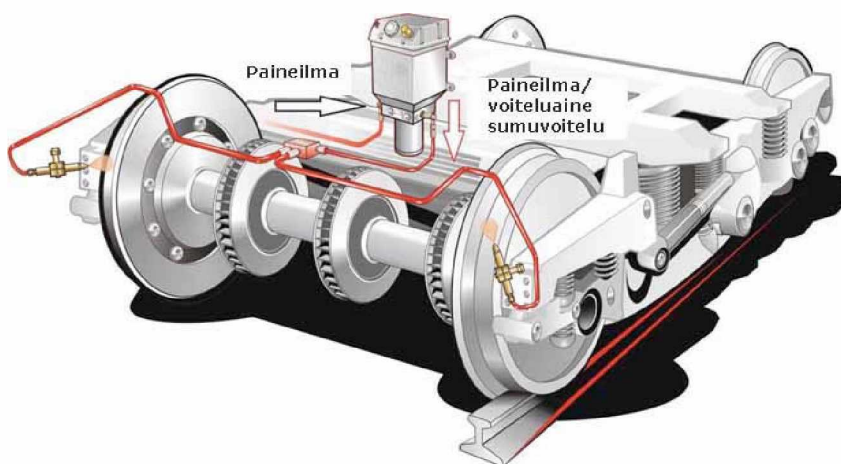
Voitelutikun hyviä ja huonoja puolia:

- + Yksinkertainen rakenne.
- + Ei likaa junaa. Ei pesun tarvetta tai kumiosien vioittumista.
- + Ei vaadi sähköä tai paineilmaa.

- + Yksinkertaisempi huoltaa kuin sumuttavat järjestelmät.
 - + Ei voi joutua pyörän kulkukehälle haittaamaan kiihdytystä ja jarrutusta.
 - + Kovassa vauhdissa ilmavirta ei aiheuta ongelmia.
- Jos tikku pääsee loppumaan tai se esimerkiksi iskun seurauksena katkeaa, pääsee laippa karhentumaan, jolloin uusi tikku kuluu nopeasti. Lisäksi uuden tikun pää ei ole profiilin muotoinen. Se saattaa myös katketa, koska voimat karheen pinnan ja tikun välillä ovat suuria.
 - Talvisin tikun ja putken väliin pääsee vettä, joka jäätyessään estää tikkua liikkumasta putken sisällä. Voitelutulos jää näin huonoksi. Jos laippa ehtii karhentua liikaa, päädytään edellisen kohdan ongelmiin.
 - Vaikka voitelumekanismissa on sisäänrakennettuna pieni säätö, ei voiteluannosta ja alueita, jossa voitelu tapahtuu voida suuremmassa mittakaavassa säätää tarpeiden mukaan.
 - Voitelutikun asentoa pitää säätää pyörien kuluessa, jotta kosketuskohta pysyy oikeana.

5.3.2 Voiteluainetta sumuttava laipanvoitelulaite

Voiteluainetta laipalle sumuttavissa laipanvoitelulaitteissa käytetään voiteluaineena joko öljyä tai rasvaa. Rasva on nykyaikaisempi menetelmä ja se on monilta ominaisuuksiltaan öljyä parempi voiteluaine laipanvoitelussa. Laipanvoitelulaite sumuttaa voiteluaineen yleensä kulkusuuntaan nähden ensimmäisen pyöräkerran laippojen juureen, mutta joskus voiteluainetta sumutetaan useammallekin pyöräkerralle samaan aikaan. Kuvassa 36 on erään valmistajan laipanvoitelulaite ja esimerkki sen asennuksesta.

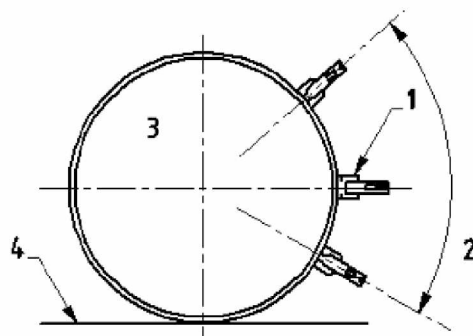


Kuva 36. Laipanvoitelulaitteisto. (57)

Sumuttavia laipanvoitelulaitteita valmistavat monet yritykset ja niiden toimintaperiaatteet eroavat hiukan toisistaan. Pääpiirteittäin toimintaperiaate on kuitenkin samanlainen. Voitelulaitteet käyttävät yleensä toimintaansa veturin tuottamaa paineilmaa, eli niissä ei yleensä ole omaa kompressoria. Paineilman joukkoon lisätään voiteluainesäiliöstä pumpun avulla pieniä määriä voiteluainetta. Voiteluainesäiliöiden

koko on yleensä noin 4–8 litraa, mutta jopa 25 litran säiliöitä käytetään. Voiteluaine ja paineilma kulkevat samassa putkessa pumpulta suuttimelle tai vaihtoehtoisesti voiteluaine sekoitetaan paineilmaan vasta suuttimella. Jos paineilma ja voiteluaine kulkevat samassa putkessa matkan voitelutankilta ja pumpulta suuttimelle, tarvitsee suuttimelle viedä vain yksi putki. Jos ne kulkevat erikseen, tarvitaan kaksi putkea, joista toisessa kulkee ilma ja toisessa voiteluaine. (18)(56)(58)

Suutin kiinnitetään teliin siten, että jousituksesta aiheutuva liike muuttaa mahdollisimman vähän suuttimen sijaintia suhteessa laippaan. Laipan voitelun standardissa suositellaan asentamaan suuttimet kuvan osoittamalla tavalla. Kuvassa 37 liikesuunta on oikealle, joten pyörän pyöriessä matka suuttimelta kiskolle on lyhyt. Sijoittamisessa on myös huomioitava ilmavirran pyörteily sekä mahdollisesti lentävä jää ja sepeli. (26)



Kuva 37. Voitelusuuttimen asennus. 1. suositelluin sijainti. 2. Yleisesti käytössä oleva sijoitusalue. (26)

Nykyään yleisesti käytössä olevissa Fluilub- ja REBS-voitelulaitteissa voiteluaine sumutetaan suuttimesta pyörän laipalle hyvin pieninä pisaroina. Pieniä pisaroita sisältävä sumu saadaan aikaiseksi joko erityisellä sekoittimella tai vasta suuttimessa. Sumussa olevien voiteluainepisaroiden halkaisija Fluilub-laitteessa on esimerkiksi vain 0,15 millimetriä. Laitteiden ohjaus tapahtuu pulsseittain. Yhdessä pulssissa pumpataan pieni määrä voiteluainetta paineilman sekaan ja sumutetaan se muutaman sekunnin kuluessa laipalle. REBS laipanvoitelulaite sumuttaa yhdessä pulssissa voiteluainetta 0,01–0,03 cm³ ja Fluilub 0,05–1,0 cm³. (59)(56)

Voiteluaine sumutetaan molemmissa laitteissa useamman sekunnin kuluessa, jotta voiteluaine levittyy tasaisesti pyörälle sen pyöriessä sumutuksen aikana useita kierroksia. REBS käyttää sumutukseen aikaa viisi sekuntia ja ilmaa tässä ajassa kuluu noin kolme litraa suutinta kohden. Syntyvän voiteluainekalvon paksuus on REBS laitteella vain 0,001 millimetriä ja leveys 10–15 millimetriä. Pieni voitelukalvon paksuus on tarpeen, jotta voiteluaine ei lennä laipalta pois pyörän pyöriessä. (59)(56) Fluilub käyttää sumutukseen aikaa vain kaksi sekuntia. Sen jälkeen pitää odottaa kaksi sekuntia ennen kuin seuraava pulssi voidaan aloittaa. Fluilub pystyy siis maksimissaan sumuttamaan voiteluainetta 15 millilitraa minuutissa, jos vain ilmaa riittää. Ilman kulutukseen vaikuttaa käytettävä suutintyyppi. Normaali pyöränlaipan suutin kuluttaa ilmaa litran sekunnissa, kun paine on 5,5baria. (60)

Laipanvoitelulaitteen laipalle suihkuttama voiteluaine kulkeutuu laipalta kiskolle ja voitelee täten myös taempia pyöräkertoja. Nykyisin laipanvoitelulatteilla haetaan

kuitenkin pääosin hyötyjä ensimmäisen pyöräkerran kulumisessa. Tähän tarkoitukseen pienetkin annoskoot ovat riittäviä.

Kunnollisia tutkimuksia voiteluaineen annostuksesta ja sen vaikutuksesta kulumiseen ja voiteluaineen kulkeutumiseen ei selvityksessä löytynyt. Erään valmistajan mukaan optimaalisissa olosuhteissa yhdellä voitelulaitteella voidaan voidella jopa 250 pyöräkertaa. Lukuarvo on saatu kauan sitten, ja menetelmää tai tutkimusta, jossa tulokseen on päädytty, ei pysty jäljittämään. Voiteluaineen kulkeutumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat suuttimen oikea suuntaus, oikea voiteluainemäärä, voitelupulssien tiheys, radan kunto ja kaarteisuus sekä se, kuinka suuressa osassa kalustoa voitelulaitteet on asennettuina. (61)(62) Tärkeä tekijä voiteluaineen kulkeutumiselle on myös veturin kulkudynamiikka. Jos veturin pyörän laippa ei osu kiskoon, ei voiteluaine siirry kiskolle. Tällöin taempien vaunujen pyörillä ei ole voitelua, vaikka niiden kulkudynamiikan vuoksi sitä tarvittaisiin.

Sumuttavissa laipanvoitelulaitteissa on käytössä useita erilaisia ohjausperiaatteita. Voitelukäsky annetaan perinteisesti tasaisen ajan tai matkan välein tai kaarteiden tunnistavan anturin avulla. Muita käytössä olevia ohjausperiaatteita ovat raiteessa oleva merkkilähetin ja GPS-paikannukseen perustuva ohjaus.

Tasaisen ajan tai matkan välein annettava voitelukäsky on yksinkertainen ja edullisesti toteutettava ohjaus. Tasaisesti tietyn ajan välein tapahtuvaa voitelua suositaan, koska siinä voitelua tapahtuu tiheämmin kuljettuun matkaan nähden, kun juna kulkee hitaasti. Yleensä hitaasti ajetaan juuri vaihdealueilla ja kaarteisella radalla, missä voitelua tarvitaan paljon. Molemmissa ohjaustavoissa tarvitaan tieto nopeudesta ja etenemissuunnasta, sillä voitelulaite täytyy sammuttaa hitaissa nopeuksissa sekä pitää tietää, kumman puolen voitelusuuttimia käytetään. Ongelmana tällaisessa ohjauksessa on, että kun juna ajaa pitkään osuuksilla, jossa ei tapahdu laippakosketusta, voiteluainetta kertyy laipalle liikaa ja se lentää junan alustaan ja kylkiin. Tästä syystä voiteluaineannosta ei voi tällaisella ohjauksella kasvattaa kovin suureksi.

Kaarteiden tunnistavaa anturia käytetään ohjaukseen, jotta voitelu voitaisiin ajoittaa kaarteeseen, jossa voitelulle on tarvetta. Kaarreaturin avulla pystytään myös päättämään, kumman puolen pyörän laippaa pitää voidella. Kaarreaturit mittaavat jotakin suuretta, josta voi päätellä junan saapumisen kaarteeseen. Mitattavia suureita ovat junan kallistuminen, keskeiskiivetyvyyden aiheuttama voima ja suunnan muutoksen mittaaminen. Kaarreaturiohjauksessa on kuitenkin ongelmana sen myöhästyminen vaihteista ja kaarteiden alusta. Sitä käytetäänkin usein täydentämään matkaa tai aikaperustaista ohjausta siten, että kaarteeseen saavuttaessa voitelua lisätään.

Radan varteen voidaan myös asentaa merkkejä, jotka käynnistävät junan laipanvoitelulaitteen, kun juna ohittaa sellaisen. Menetelmä olisi muuten hyvä, mutta koko laajan rautatieverkon merkitseminen ja merkkien huoltaminen olisi kallista. GPS-paikannukseen perustuva ohjaus poistaa tämän ongelman. GPS-paikannusta apunaan käyttävää voitelujärjestelmää käytetään esimerkiksi Englannissa. (63)

Englannissa käytössä olevasta GPS-paikannusta hyväksi käyttävästä voitelujärjestelmästä ei ole saatavilla kovinkaan paljon tietoa. Järjestelmän tuotenimi on Intelligent Wheel Flange Lubrication (iWFL). Voitelulaitteena järjestelmä käyttää REBS:n laipanvoitelulaitetta. Ohjausjärjestelmän kehittäjä on englantilainen Rowe Hankins -yritys. Järjestelmän ohjauksessa käytetään apuna GPS-paikanninta, kaarreaturia sekä

matkan ja nopeuden mittausta. Järjestelmälle opetetaan ensin reitti, ja sen jälkeen ohjausjärjestelmä osaa säätää voitelun määrää tarpeen mukaan. (64)(63)

Saksalainen REBS on hakenut patenttia sovellukselle, jossa voitelua ohjataan GPS-paikannusta hyödyksi käyttäen. Patentissa haetaan suojaa menetelmälle, jossa verrataan paikannuslaitteen antamia X- ja Y-koordinaatteja tallennettuihin koordinaatteihin. Patentti on voimassa ilmeisesti Saksassa ja Ranskassa. Monissa muissa EU-maissa se on hylätty ja Englannissa kumottu. Suomeen patenttia ei ole haettu. Patentin numero on EP0918677.

Sumuttavien laipanvoitelulaitteiden tehokkaan toiminnan kannalta on oleellista, että niitä huolletaan hyvin. Voitelusuuttimen pitää olla tarkasti suunnattu, jotta voiteluaine päätyy juuri oikeaan paikkaan pyörällä. Pyörien kuluessa suuntausta pitää korjata. Korjaus on hyvä suorittaa pyörien sorvauksen yhteydessä. Lisäksi voitelulaitteella pitää olla huoltosuunnitelma, jossa varmennetaan, että suuntaus on kohdallaan, osat kireällä ja paikallaan eikä suutin ole kokonaan tai osin tukkeutunut. Myös voiteluaineen kulutusta seuraamalla voidaan havaita, jos voitelulaite ei toimi. (26) Voitelulaitteen toimintaa voi tutkia esimerkiksi sumuttamalla voiteluainetta paperille ja punnitsemalla, kuinka paljon voiteluainetta yhdessä voitelupulssissa tulee. (65)

Sumuttavan laipanvoitelulaitteen hyviä ja huonoja puolia:

- + Voiteluaineen annostusta voidaan säätää toisin kuin tikkua.
- + Kalustoon kiinnitetty voitelulaite voitelee tasaisesti, joten ei pitäisi tulla niin suuria kulumiseroja kaarteiden sisällä kuin kiinteästi asennetulla laitteella.
- + Liian aikainen tai myöhäinen voitelun aloitus kaarteeseen nähden ei poista kokonaan voitelun tehoa kuten kiinteästi asennetuissa laitteissa.
- + Huoltaminen ja tarkastaminen helppoa ja turvallista, koska voidaan suorittaa varikolla.
- + Voitelu tapahtuu liikenteen ohessa, joten ei vaadi erillistä työvoimaa tai rata-aikaa kuten voiteluajoneuvot.
- + Jos yksi voitelulaite hajoaa, ei voitelu petä kokonaan joltain alueelta kuten kiinteästi sijoitetuissa voitelulaitteissa. (23)
- Laipan ohi suihkunnut tai laipalta pois lentänyt voiteluaine likaa junan kylkiä ja alustaa sekä saattaa jäädyttää hiekoituslaitteita. Suurina määrinä voiteluaine voi liukastaa veturin portaita ja kulkukäytäviä (22). Ongelman vuoksi annostusta ei voi kasvattaa kovin suureksi perinteisillä ohjaustavoilla.
- Junan alustaan kertyvä voiteluaine voi aiheuttaa tulipaloriskin. Palamattomaankin öljyn/rasvaan voi kertyä likaa, joka muodostaa palavan seoksen. (33)
- Lentävät esineet, kuten sora tai jää, saattavat osua suuttimeen ja muuttaa sen suuntausta.
- Väärin suunnatut suuttimet voivat aiheuttaa voiteluaineen joutumisen pyörän kulkukehälle ja aiheuttaa näin ongelmia. (22)
- Amerikassa on kokemuksia, että laitteiden kuvitellaan olleen syynä pyörien huonoon pitoon, jolloin kuljettaja sammuttaa laiteen. Todellisuudessa kyse on kuitenkin usein laipanvoitelusta riippumattomista olosuhteista. Jos laite on mahdollista kytkeä pois päältä niin pitää olla ajastin, joka palauttaa sen käyttöön. (22) Laipanvoitelulaitteesta lähtee myös tasaisin väliajoin suhahtava ääni, mistä johtuen kuljettaja saattaa kyllästyä laitteeseen ja kytkeä sen pois päältä.

- Jos veturin pyörän laippa ei osu kiskoon, ei voitelua voi tapahtua taemmillakaan pyörillä, vaikka sille olisi tarvetta. Tästä syystä veturin laipanvoitelulaitteella ei voida esimerkiksi voidella sellaisten vaunujen pyöräkertoja, joiden laipat osuvat suorillakin osuuksilla kiskoon. Tällaisia vaunuja voivat olla vaunut, joiden telin keskiö ei huonon kääntyvyytensä takia seuraa raidetta. Kaarteissa tarttuva voiteluaine voitelee kuitenkin myös hieman suorilla osuuksilla.
- Ajoneuvoihin kiinnitettyjen voitelulaitteiden toimintavarmuudessa on ollut ongelmia aivan kuten kiinteästi asennetuissa voitelulaitteissakin (43).

6 RAUTATIEYMPÄRISTÖSSÄ TAPAHTUVA PAIKANNUS

Junaan kiinnitetyn laipanvoitelulaitteen voitelutehokkuuden parantamiseksi ja voitelusta aiheutuvien haittojen vähentämiseksi pitäisi voitelulaite voida käynnistää vain siellä, missä sitä tarvitaan. Tällaista laipanvoitelulaitteen ohjausta varten pitää käytössä olla jonkinlainen reaaliaikainen junan paikannusmenetelmä.

6.1 Vaihtoehtoisia paikannustapoja

Rautateillä tarkkaa paikannusta on jo kauan tarvittu radan ylläpidon tehtävissä. Ratakilometrimenetelmä, jossa tunnetusta merkkipisteestä edeten mitataan matkaa, on ollut perinteinen menetelmä. Kun tarve automatisoidulle paikannukselle on kasvanut, on pitänyt kehittää muita menetelmiä.

6.1.1 Baliisit

Nykyään junissa käytetään automaattista kulunvalvontaa. Järjestelmässä veturi saa tietoa esimerkiksi alueen nopeusrajoituksesta raiteeseen asennetuista, radio-
taajuudella toimivista, lähettimistä, joita kutsutaan baliiseiksi. Junan automaattisen paikantamisen pitäisi olla mahdollista ratatietokannan, baliisien ja matkan mittauksen avulla. Ongelmana tällaisessa järjestelmässä, jossa käytettäisiin paikannuksen apuna baliisien tietoja, on kuitenkin se, että baliisien lukemiseen vaaditaan iso ja kallis lukulaite. Tällaisen laitteen hankinta, asennus ja huoltokustannuksen olisivat isoja laipanvoitelulaitteen ohjausta ajatellen. Mahdollista olisi kuitenkin lukea baliisien lähettämää tietoa veturissa jo nykyisin olevasta automaattisen kulunvalvonnan (JKV) veturilaitteesta. JKV-veturilaitteessa on vapaana yksi portti, josta voi kuunnella baliiseista luettua tietoa (66). Ongelmana tällaisessa järjestelyssä on, että muutokset automaattiseen kulunvalvontaan aiheuttaisivat myös tarpeen päivittää veturilaitteen ohjausta. Suomessa ollaan myös siirtymässä nykyisestä kulunvalvontajärjestelmästä kohti eurooppalaista junakulunvalvontajärjestelmää (ETCS, European Train Control System), josta aiheutuen nykyisen veturilaitteen kanssa toimivaa paikannusjärjestelmää ei kannata rakentaa.

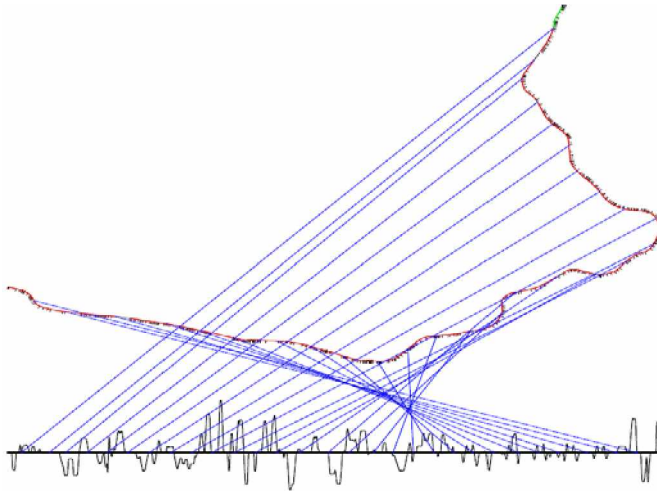
Baliiseja käyttävää paikannusmenetelmää varten pitäisi myös työstää uusi tietokanta, jossa olisi tieto baliisien sijainnista ja muusta rataverkosta. Tietokannan avulla päätettäisiin missä juna ja voitelua vaativat kohteet sijaitsevat. Matkan mittaamiseen tietyltä pisteeltä perustuvassa järjestelmässä on myös ongelmia käytettävyydessä verrattuna esimerkiksi satelliittipaikannukseen. Jos huoltohenkilökunnan pitää merkitä jonkin paikan sijainti tietokantaan, voidaan satelliittipaikannusta käytettäessä mitata sijainti paikannuslaitteella. Baliiseja apuna käyttävässä järjestelmässä pitää mitata paikan etäisyys baliisista, ennen kuin tieto voidaan viedä tietokantaan.

6.1.2 Cubal

Itävallassa tarvittiin paikannusmenetelmä radanhuollon ja mittauksen tarpeisiin raitiotie- ja metroverkolle tämän vuosikymmenen alkupuolella. Tarpeeseen päädyttiin kehittämään uudenlainen paikannusmenetelmä, koska aiempien menetelmien katsottiin olevan huonosti toimivia tai kalliita. Kehitetty paikannusmenetelmä perustuu kaarteiden tunnistamiseen ja niistä luotuun tietokantaan. Kehitetyn tuotteen nimi on CUBAL/NetScan. (67)(68)

Harkittuja muita vaihtoehtoja olivat GPS-paikannus, rataa kiinnitettävät lähettimet ja radan luontaiset kiintopisteet kuten vaihteet. GPS-paikannus ei soveltunut tarpeeseen, koska kaupunkiympäristössä oli paljon näkyvyysesteitä taivaalle sekä taloista aiheutuvia monitieheijastumia. Rataa kiinnitettävissä antureissa etuna oli, että ne olisivat olleet tunnettua teknologiaa. Ne kuitenkin vaativat asennusta ja huoltoa. Lukijalaitteet ja lähettimet joutuvat alttiiksi ympäristön rasituksille kuten sääoloille. Myös vaihteiden ja ratapölkkyjen käyttöä referenssipisteinä harkittiin, mutta vaihteita oli liian harvoin, ja joillakin osuuksilla ei käytetty ratapölkkyä, koska osuudella oli urakiskot. (67)(68)

Cubal/Netscan-paikannus perustuu kaarteiden tunnistavan anturin käyttöön ja kaarretiedoista koostettuun tietokantaan. Verkosto ajetaan ensin muutamaan kertaan läpi ja kerätyistä tiedoista valmistetaan tietokanta. Paikantaminen tapahtuu tämän jälkeen automaattisesti vertaamalla havaittua tulosta kerättyyn tietokantaan. Kuvassa 38 havainnollistetaan radan geometrian ja huoltovaunussa olevasta sensorista saatavan signaalin suhdetta. Hyötynä järjestelmässä on, että se ei vaadi radantarkastusvaunuun tai radalle uusia sensoreita, eikä järjestelmän ylläpidosta myöskään aiheudu lisäkuluja, kuten radan lähettimien huollosta aiheutuisi. Cubalin paikannustarkkuus kuitenkin laskee pitkällä suorilla rataosuuksilla. (67)(68) Tämä vähentää Cubalin käyttökelpoisuutta rautatieympäristössä ja varsinkin Suomen kaltaisissa maissa, joissa radat ovat melko suoria.



Kuva 38. Cubal/Netscan-Paikannus perustuu kaarteiden tunnistamiseen ja kaarretietokannan rakentamiseen. (68)

6.1.3 Satelliittipaikannus

Satelliittipaikannuksen käyttö erilaisissa sovelluksissa on lisääntynyt jatkuvasti. Myös saavutettavat tarkkuudet ovat nykyään hyviä. Satelliittipaikannus mahdollistaa vierekkäisten raiteiden erottamisen toisistaan, kun käytetään hiukan kalliimpia satelliittipaikantimia. Tässä tutkimuksessa päädyttiin selvittämään tarkemmin satelliittipaikannuksen käyttöä laipanvoitelulaitteen ohjauksen apuna, koska muut mahdolliset paikannustavat olivat ongelmallisia. Ei voida kuitenkaan sanoa, onko satelliittipaikannuksen valinta oikea ratkaisu, sillä myös muut menetelmät saattaisivat osoittautua toimiviksi.

Satelliittipaikannuksen hyviä ja huonoja puolia ovat:

- + Yleisesti käytössä olevaa teknologiaa, joka kehittyy jatkuvasti.
- + Vastaanottimet alkavat olla edullisia.
- + Useita mahdollisia käyttökohteita junissa, joten saman paikannuslaitteen käyttö moneen tarkoitukseen voisi olla mahdollista
- + Rataverkosta on saatavissa sijainnin kertovia tietokantoja.
- + Rautatieympäristössä on yleisesti hyvä näkyvyys taivaalle.
- Vierekkäisten raiteiden erottamiseksi vaaditaan differentiaalikorjausta, jota tukevat mallit ovat kalliimpia. Lisäksi korjaustiedon saanti vaatii mahdollisesti lisenssimaksun.
- Tarvitaan lisäksi muiden sensoreiden apua, jotta paikannustarkkuus pysyy hyvänä myös, kun yhteys satelliitteihin ei ole paras mahdollinen.

Satelliittipaikannusta käytetään jo junissa useissa sovelluksissa, ja suunnitteilla on monia uusia käyttökohteita. Suomessa GPS-paikannusta käytetään esimerkiksi radan tarkastuksessa sekä junien kuulutuksien ja pääkaupunkiseudun lähiliikennejunien lipunmyyntijärjestelmän ohjauksessa. Ulkomailla satelliittipaikannusta käytetään muun muassa tavaravaunujen sijainnin seurantaan (69), kallistuvakoristen junien kallistuksen ohjaamiseen (70), liikenteen turvallisuuden parantamiseen (71), taloudellisen ajon parantamiseen ja hiekoituslaitteen ohjaamiseen (72).

Useimmissa käytössä olevista sovelluksista ei vaadita raiteen tarkkuudella paikantamista. Paikannusteknologian parantuessa ja halventuessa sovellukset tulevat tulevaisuudessa lisääntymään. Koska jokaiseen sovellukseen ei kannata asentaa uutta satelliittipaikanninta, pitäisi sopia, kuinka useat sovellukset pääsevät käyttämään samaa paikanninta.

6.2 Yleistä satelliittipaikannuksesta

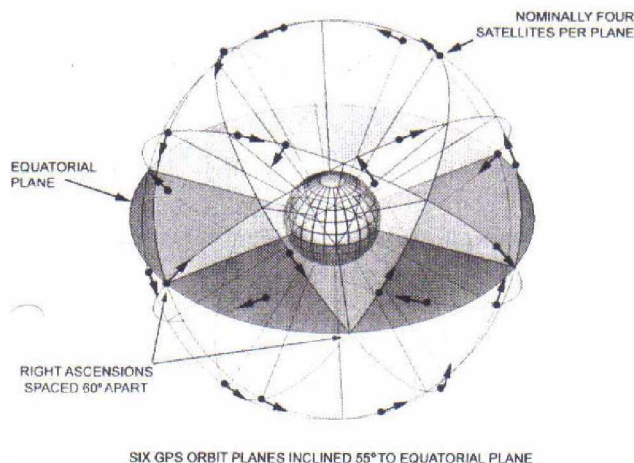
Ensimmäiset satelliittipaikannusjärjestelmät perustuivat 1960-luvulla maata kiertävien satelliittien lähettämän radiosignaalin doppler-ilmiöstä johtuvan taajuusmuunnoksen mittaamiseen. (73) Ensimmäinen moderni satelliittinavigointijärjestelmä oli yhdysvaltalainen Navstar GPS. Se on edelleen käytössä ja ainoa satelliittinavigointijärjestelmä, joka toimii tällä hetkellä täysin suunnitellussa laajuudessaan. GPS-järjestelmä saatiin valmiiksi vuonna 1994, mutta sitä kehitetään edelleen.

GPS-järjestelmän kanssa kilpaileva järjestelmä on venäläisten Glonass. Se valmistui vuonna 1996, mutta tällä hetkellä järjestelmästä puuttuu muutamia satelliitteja. Lisäksi suunnitteilla ja rakenteilla on eurooppalaisten Galileo- ja kiinalaisten Comapass/ Beidou 2-satelliittinavigointijärjestelmät.

6.3 GPS-teknologian perusteet

Tässä kappaleessa käydään läpi lyhyesti GPS-järjestelmän toimintaperiaate. Muut satelliittipaikannusjärjestelmät eivät merkittävästi eroa toimintaperiaatteiltaan GPS-järjestelmästä. Kaikki modernit satelliittipaikannusjärjestelmät perustuvat signaalin kulkuajan mittaamiseen satelliitilta havaitisijalle. Järjestelmien käyttämä koodaus, taajuudet ja niiden käyttö sekä satelliittien määrä ja inkliinaatiokulma eroavat kuitenkin toisistaan.

GPS-järjestelmä voidaan jakaa kolmeen segmenttiin: avaruus-, valvonta- ja käyttäjäsegmenttiin. Avaruussegmenttiin kuuluvat satelliitit, jotka lähettävät maahan radiosignaalia. Satelliitit kiertävät maapalloa kuudella ratatasolla, jotka ovat 55 asteen inkliinaatiokulmassa päiväntasaajan tasoon nähden. Kiertoratojen säde on 26 560 kilometriä, eli ne ovat noin 20 200 kilometrin korkeudella maanpinnasta. Järjestelmään kuuluu yhteensä vähintään 24 satelliittia, mutta lisäksi radoilla voi olla ylimääräisiä toimivia varasatelliitteja. Kuvassa 39 näkyy ratatasot ja niillä kulkevat satelliitit. Horisontin yläpuolella on samanaikaisesti 7–12 satelliittia kun käytössä on 24 satelliittia. Valvontasegmentti koostuu järjestelmän toimintaa tarkkailevista asemista ja antenniasemista, joilla lähetetään satelliiteille esimerkiksi korjattu tieto niiden todellisesta mitatusta radasta. Käyttäjäsegmentti koostuu järjestelmän käyttäjistä eli laitteista, jotka laskevat sijaintinsa GPS-satelliittien radiosignaalien perusteella. (74)(75)(76)



Kuva 39. GPS satelliittien ratatasot ja satelliittien sijoittelu. (75)

Jokainen satelliitti lähettää radiosignaalia, jossa kantoaallon päälle on moduloitu pseudosatunnaiskoodia. Kantoaallon taajuuksista taajuudet L1 (1575,42 MHz) ja L2 (1227,60 MHz) ovat tällä hetkellä yleisesti käytettyjä. Kaikki satelliitit lähettävät viestiään samalla taajuudella, mutta vastaanottajan on mahdollista erottaa satelliittien viestit toisistaan pseudosatunnaiskoodin perusteella, joka on erilainen jokaisella satelliitilla.

Satelliittipaikannus perustuu siihen, että jos tiedetään kolmen satelliitin tarkka paikka ja niiden etäisyys havaitsijasta, voidaan laskea havaitsijan sijainti. GPS-vastaanotin kuuntelee satelliittien lähettämiä viestejä. Satelliitit lähettävät tietoa sijainnistaan ja kellonajasta, jolloin viesti on lähetetty. Satelliiteissa on tarkat atomikellot ja niiden virhettä seurataan, joten lähetysajankohta on tarkasti selvillä. Vastaanottaja pystyy laskemaan etäisyyden satelliittiin signaalin kulkunopeuden ja matkaan käytetyn ajan perusteella.

Jos myös vastaanottimessa olisi tarkka kello, riittäisi kolmen satelliitin havaitseminen. Riittävän tarkat kellot maksavat kuitenkin paljon, joten sellaisten käyttö olisi kohtuuttoman kallista. Kellovirheen laskeminen on kuitenkin mahdollista, kun kuunnellaan vielä neljättä satelliittia samaan aikaan. Satelliittipaikantimen pitääkin pystyä kuuntelemaan neljää satelliittia samaan aikaan, jotta se pystyy laskemaan sijaintinsa ja selvittämään kellovirheen. Useampien satelliittien samanaikainen kuuntelu parantaa paikannustarkkuutta.

Satelliittipaikannusvirhe on satunnaisesti jakautunutta. Sen kuvaamiseen käytetään tilastollisia menetelmiä. Yleisin tapa ilmoittaa virhe on 2 dRMS raja-arvo. Se saadaan kertomalla virheen keskihajonta kahdella. Näin ilmoitettu arvo kertoo virheen, jota pienempi yksittäinen mittausta 95 prosentin todennäköisyydellä on. Virhe on täten myös 95 prosenttia ajasta tätä arvoa pienempi. (76)

Tarkkuus koostuu satelliitin kahdesta toisistaan riippumattomasta tekijästä: satelliittien etäisyyden mittaamisesta syntyneestä virheestä ja satelliittigeometrian aiheuttamasta epävarmuudesta. Satelliittien etäisyyden mittaamisessa esiintyvää virhettä aiheuttavat useat tekijät. Tekijöitä ovat seuraavat: satelliittien ilmoittamat radat poikkeavat todellisista, satelliittien kelloissa on pientä virhettä, signaalin kulkuaikaan vaikuttavat ilmakehän ilmiöt, signaalin heijastuminen esteistä, eli

monitie-eteneminen, ja mittauslaitteen epätarkkuudesta. Satelliittigeometriasta johtuva epävarmuus tulee vielä muiden virheiden päälle.

Satelliittigeometrialla tarkoitetaan satelliittien sijaintia taivaalla suhteessa havaitsijaan. Parhaan tuloksen saamiseksi pitää olla mahdollista havaita useita satelliitteja samaan aikaan niin, että ne ovat riittävän etäällä toisistaan. Satelliitit eivät kuitenkaan saa olla liian lähellä horisonttia, koska silloin signaalin kulussa ilmakehässä syntyy suuria virheitä. Satelliittigeometriaa kuvataan DOP-luvuilla (Dilution of precision). Vaakasuuntaista virhettä kuvataan esimerkiksi HDOP-arvolla (Horizontal DOP) ja kolmiulotteista tarkkuutta PDOP-arvolla (Positional DOP).⁽⁷⁶⁾ Kun PDOP arvo on alle kuusi, voidaan sitä pitää maanmittauslaitoksen mukaan riittävän hyvänä⁽⁷⁷⁾. HDOP-arvoa voidaan pitää hyvänä kun se on alle 1,5. Etäisyyden mittauksessa tehty virhe on kerrottava DOP-arvolla, jotta saadaan lopullinen virhe.⁽⁷⁶⁾

GPS-paikannus jaetaan käytettävän teknologian mukaan absoluuttiseen, differentiaaliseen ja suhteelliseen paikannukseen. ⁽⁷⁷⁾ absoluuttinen paikannus on alkuperäinen paikannusmenetelmä. Differentiaali- ja suhteellinen paikannus on kehitetty myöhemmin, kun on tarvittu parempia tarkkuuksia.

6.3.1 Absoluuttinen paikannus

Absoluuttisessa paikannuksessa käytetään vain yhtä paikannuslaitetta, joka ei ole yhteydessä korjaustietoihin. Satelliitit lähettävät molemmilla taajuuksillaan useaa erilaista koodia. Osa koodista on salattuja ja tarkoitettu vain salaussavaimen haltijoiden käyttöön. Yleisesti käytetyllä L1-taajuudella lähetetään C/A- ja P-koodia. Näistä C/A-koodi on salaamaton ja näin ollen kaikkien käytettävissä, vaikkakin epätarkempi kuin salattu koodi. Normaalit, hinnaltaan edulliset satelliittipaikantimet kuuntelevat L1-taajuuden C/A-koodia.

Koodia kuuntelemalla satelliitti pystyy laskemaan etäisyyden itsensä ja satelliitin välillä, eli koodipseudoetäisyyden. Etäisyyttä kutsutaan pseudoetäisyydeksi, koska tarkkaa tietoa kellovirheistä ei ole. C/A-koodin tila vaihtuu taajuudella 1.023MHz. Koodin ”aallonpituus” on tällöin siis 300 metriä. Jos vastaanotin pystyy mittaamaan koodin vaiheen yhden prosentin tarkkuudella, pseudoetäisyyden mittatarkkuudeksi saadaan kolme metriä. Monet laitteet pääsevät suurempiinkin tarkkuuksiin. ⁽⁷⁴⁾⁽⁷³⁾

Paikannusvirhettä aiheuttavat tekijät voidaan jakaa syntypaikkansa mukaan satelliitissa, signaalin kulussa ja vastaanottimessa syntyviin virheisiin. Satelliittiin liittyviä virhelähteitä ovat kellovirheet ja ratavirheet. Signaalin kulussa virhettä voivat aiheuttaa ilmakehän ilmiöt, jotka muuttavat signaalin kulkunopeutta sekä pinnat, jotka aiheuttavat monitieheijastumia. Monitieheijastumisissa signaali saapuu vastaanottimelle esimerkiksi rakennuksen seinästä heijastuen. Vastaanottimessa virhettä voi syntyä kellovirheen seurauksena. ⁽⁷³⁾

Virheiden suuruusluokkaa toisiinsa nähden esitetään taulukossa 2. Taulukossa esitetyillä arvoilla kokonaisvirheeksi tulisi ± 15 metriä ⁽⁷⁸⁾. Maanmittauslaitos antaa absoluuttiselle paikannukselle tarkkuudeksi alle 10 metriä, mutta ilmoittaa, että tarkkuus voi heitellä huomattavasti mittauspaiasta, satelliittigeometriasta ja virhelähteistä johtuen ⁽⁷⁷⁾. Aurinkomyrskyt saattavat aiheuttaa suuria virheitä, mutta niitä ei esiinny kovin usein.

Taulukko 2. GPS-paikannuksen virhelähteet. (79)

Ionosfääristä aiheutuvat virheet	$\pm 5\text{m}$
Satelliittien ratatietovirheet	$\pm 2,5\text{m}$
Satelliittien kellovirheet	$\pm 2\text{m}$
Heijastumavirheet	$\pm 1\text{m}$
Alailmakehästä aiheutuvat virheet	$\pm 5\text{m}$
Laskenta- ja pyöristysvirheet	$\pm 5\text{m}$

6.3.2 Differentiaalipaikannus

Monet virhelähteistä ovat samanlaisia sijainniltaan lähekkäisille vastaanottimille. Ratavirheet, satelliittien kellovirheet ja ilmakehästä johtuvat virheet näkyvät lähekkäisille paikannuslaitteille yhtä isoina. Absoluuttisen paikannuksen tarkkuutta parantamaan on kehitetty menetelmä, jossa tarkasti sijainniltaan tunnetulle tukiasemalle sijoitettu vertailuvastaotin laskee tunnetun sijaintinsa avulla eri satelliiteille syntyviä etäisyysvirheitä. Tukiasema lähettää mittauksien perusteella saadut korjaustiedot mittauksista suorittavalle paikannuslaitteelle. Menetelmää kutsutaan differentiaalipaikannukseksi ja laitetta, joka osaa lukea korjaustietoa differentiaali GPS-paikantimeksi (DGPS). Saavutettava tarkkuus on sitä parempi mitä lähempänä tukiasemaa mittaaja sijaitsee. (76)

Tukiasemalla sijaitseva vastaanotin mittaa jokaisen satelliittiin etäisyysvirhettä erikseen, jotta paikannusta suorittava laite voi valita itselleen parhaiten sopivat satelliitit. Tiedonsiirto paikannusta suorittavan laitteen ja tukiaseman välillä voidaan toteuttaa monella tavalla. Korjaustietoja voidaan lähettää radiotaajuuksilla yleisesti tietylle alueelle tai kaksisuuntaista langatonta tietoliikenneyhteyttä käyttäen yksittäiselle käyttäjälle.

6.3.3 Suhteellinen paikannus

Suhteellisella paikannuksella tarkoitetaan paikannusta, jossa satelliittipaikannin käyttää hyväkseen kantaaltoa, johon koodi on moduloitu. Kantaallon aallonpituudet ovat huomattavasti lyhyempiä kuin koodin "aallonpituus", joten menetelmällä päästään senttimetrin tarkkuuteen ja pitkällä mittausajalla jopa millimetritarkkuuteen. L1- ja L2-taajuuksien aallonpituudet ovat 19 ja 24,4 senttimetriä kun salaamattoman GPS-järjestelmän koodin "aallonpituus" on 300 metriä. (74)

Suhteellisessakin paikannuksessa käytetään korjaustietoa. Suhteelliseen paikannukseen pystyvät paikannuslaitteet käyttävät yleensä sekä L1- että L2-taajuuksia. Kantaallon vaiheen mittaukseen pystyvät vastaanottimet ovat selkeästi kalliimpia kuin DGPS-vastaanottimet.

6.4 Korjaustiedon tarjonta Suomessa

Suomessa on tällä hetkellä kolme korjaustietojen palveluntarjoajaa: Liikenneviraston meriosasto, Indagon Oy ja Geotrim Oy. Kaksi jälkimmäistä tarjoavat korjaustietoja koko maan alueella. Lisäksi eurooppalaisen Galileo-projektin yhteydessä päivän

tasaajan ylle on lähetetty satelliitteja, jotka lähettävät korjaustietoja. Järjestelmän nimi on Egnos ja sen käyttö on ilmaista. Egnoksen kuuluvuus Suomessa on huono ja tästä syystä se ei sovellu navigointiin.

Korjaustietoja käyttämällä pystytään parantamaan paikannustarkkuutta, saamaan nopeammin tieto huonosti toimivista satelliiteista sekä saadaan vuosien saatossa mannerlaattojen liikkeestä aiheutuva muutos korjattua GPS:n käyttämän WGS84-koordinaatiston ja Suomessa käytettävän EUREF-FIN-koordinaatiston välillä.

6.4.1 Fokus-palvelu

Indagon Oy tuottaa Fokus-palvelua yhdessä Digitan kanssa. Fokus-palvelu lähettää RTCM (SC)104 -standardin tyyppin 1 ja 2 mukaisia korjaustietoja ULA-taajuuksilla Radio Suomen verkossa. Palvelun käyttöön tarvitaan erillinen vastaanotin ja maksullinen lisenssi. Lisenssin hinta vuodeksi oli vuonna 2008 830 € ja kolmeksi vuodeksi 2120 €. Suurasiakkaille hinnat neuvotellaan erikseen. (80)

Fokus-palvelun tuottamaa korjaustietoa voi tilata myös tietoliikenneyhteyden yli toimitettuna. Tällöin tarvitaan jokin tietoliikenneyhteys internetiin ja kommunikoinnissa käytetään NTRIP-standardia. Tietoliikenneyhteytenä voidaan käyttää esimerkiksi GPRS-, 3G- tai 450 Mhz -verkkoja.

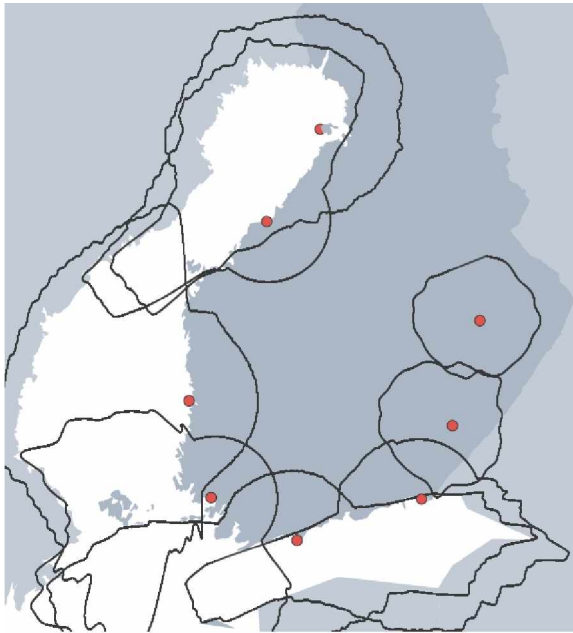
6.4.2 RTK-VRS verkko

Geotrim Oy:n RTK-VRS-verkko on koko Suomen kattava korjaustietoa tarjoava palvelu. Palvelulla on eniten mittaustukiasemia, ja lisäksi siinä lasketaan usean tukiaseman tietojen perusteella virtuaalinen tukiasema mittausta suorittavan paikantimen ilmoittaman sijainnin läheisyyteen. Tiedonsiirto palvelimen ja mittaajan välillä hoidetaan GPRS-yhteydellä. Palvelu tarjoaa korjaustietoa sekä vaiheenmittausta käyttäville paikannuslaitteille että DGPS-paikantimille. DGPS-paikantimilla päästään 95 prosentin todennäköisyydellä 0,25–2,5 metrin tarkkuuksiin paikannuslaitteesta riippuen. Palveluun tarvittavan lisenssin vuosihinta on 800–1000 €. (81)(82)

6.4.3 Liikenneviraston DGNSS-palvelu

Kauppamerenkulku tarvitsee satelliittinavigoinnin korjauspalvelua. Liikenneviraston meriosasto tarjoaa tällaisen palvelun ilmaiseksi niille, joilla on sen vastaanottamiseen vaadittava laitteisto. Vastaanottamiseen tarvitaan siihen tarkoitettu beacon-antenni. Palvelu on suunnattu rannikkovesillä ja Saimaan syväväylällä liikkuville, mutta se kuuluu osin myös mantereella. Paikannustarkkuudeksi merenkulkulaitos määrittelee < 10 metriä 95 prosentin todennäköisyydellä, mutta todellisuudessa järjestelmän tarjoama tarkkuus on kuitenkin 1–2 metrin luokkaa 95 prosenttia ajasta. (83)

Korjaussignaalia lähettäviä radioasemia on tällä hetkellä yhdeksän kappaletta. Kuvassa 40 on esitetty niiden sijainti ja arvioitu kuuluvuusalue. Kuuluvuusalue kattaa melko suuren osan vilkkaasti liikennöidyistä useampiraiteisista alueista. Radio-signaalin kuuluvuus rautateillä pitäisi kuitenkin tutkia ennen käyttöönottoa. Mahdollisuutta välittää Liikenneviraston meriosaston palvelun korjaustietoja juniin tietoliikenneyhteyttä pitkin voisi myös tutkia.



Kuva 40. Liikenneviraston DGNSS-palvelun kuuluvuusalue ja lähetysasemien sijainnit. (84)

6.5 Satelliittipaikannuksen soveltuvuus rautatieympäristöön

Satelliittipaikannus perustuu heikkojen radiosignaalien kuunteluun. Rautatieympäristössä on paljon sähkölaitteita, joista aiheutuu erilaisia häiriöitä radiotaajuuksille. IEEE on tutkinut näiden häiriöiden vaikutusta halpoin GPS-paikantimiin (85). Tutkimuksessa arvioitiin häiriöiden vaikutusta niitä koskevien standardien ja tehtyjen mittausten pohjalta. Suomen olosuhteissa yleisen virroittimen valokaaren ei tutkimuksen mukaan pitäisi haitata GPS-paikannusta. Muilla häiriöillä todettiin olevan mahdollisia vaikutuksia halvimpien L1-taajuutta käyttävin GPS-paikantimien toimintaan, joten laitetta valittaessa kannattaa kiinnittää asiaan huomiota. Häiriöistä aiheutuvat ongelmat eivät kuitenkaan todennäköisesti ole yleisiä, koska tässä tutkimuksessa haastatellut GPS-paikannusta rautatiellä käyttävät henkilöt eivät ole havainneet häiriöitä.

Toinen mahdollinen satelliittipaikannusta rautateillä häiritsevä tekijä ovat maastosta tai rakennuksista aiheutuvat katveet taivaalle. Korkeat esteet voivat myös aiheuttaa signaalin heijastumista, joka heikentää paikannustarkkuutta. Katveiden kartoittamiseen rautatieympäristössä on olemassa laitteisto, joka perustuu junan katolle asennettavaan kameraan (86). Kamera kartoittaa näkyvyyden taivaalle ja osaa arvioida, kuinka monta satelliittia alueella näkyy eri aikoina.

Suomessa rautatiet eivät kuitenkaan kulje juuri korkeiden talojen välissä, ja maasto on muutenkin tasaista, joten asian ei pitäisi olla kovin suuri ongelma. Radat, joissa molemmilla puolilla kasvaa korkeaa metsää, voivat rajoittaa näkyvyyttä taivaalle jonkin verran. Antenni on kuitenkin katolla, joten metsän pitää olla korkeaa, jotta se

peittäisi näkymää taivaalle suuremmin. Jos rinnan kulkee kaksi raidetta, on näkyvyys taivaalle parempi. Yksiraiteisella osuudella paikannustarkkuuden taas ei tarvitse olla yhtä hyvä, koska ei ole tarvetta erottaa raiteita toisistaan. Tunneleissa satelliittipaikannus ei onnistu, ja siellä tarvitaan muita paikannusmenetelmiä. Asemilla näkyvyys voi heikentyä huomattavasti. Ainakin Helsingin rautatieaseman ja Pasilan aseman tiedetään häiritsevän paikannusta selvästi.

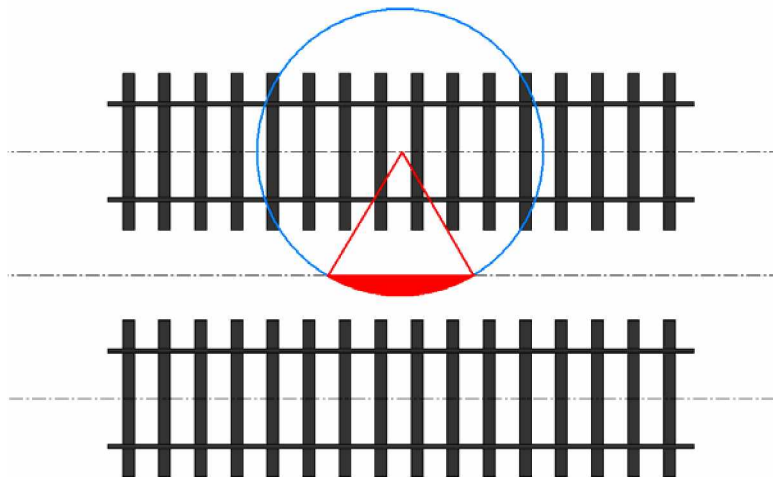
6.6 Paikannustarkkuuden vaatimuksista

Kiskokalustossa vaadittava paikannustarkkuus voidaan jakaa raiteen suuntaiseen ja poikkisuuntaiseen vaatimukseen. Raiteensuuntaisesti saavutettava tarkkuus määrittää, kuinka tarkasti haluttu piste löytyy raiteelta. Poikkisuuntainen tarkkuus määrittää, voidaanko vierekkäiset raiteet erottaa toisistaan. Erilaiset sovellukset aiheuttavat erilaisia vaatimuksia tarkkuudelle.

Jos haluttuaan erottaa vierekkäiset raiteet toisistaan, tarvitaan tarkempaa paikannusta. Raideväli voi olla pienimmillään 4,10 metriä. Usein raideväli on kuitenkin suurempi. (12) Jos raiteiden keskilinjan sijainnit tiedettäisiin täysin tarkasti eikä antennin sijoittamisessa olisi pienintäkään virhettä, pitäisi paikannusvirheen olla pienempi kuin 2,05 metriä, jotta tiedettäisiin, millä raiteella liikutaan.

Käytännössä raiteiden keskilinjojen sijaintia ei tiedetä aivan tarkasti, vaan niissä on aina pieni virhe. Myös junan kallistuminen kaarteissa aiheuttaa paikannusvirhettä, koska antennin paikka muuttuu suhteessa raiteen keskilinjaan. Suuripiirteisenä arviona, ilman todellista matemaattista tarkastelua, voidaan ajatella, että paikannusvirhe saa maksimissaan olla noin kahden metrin luokkaa, jotta pystytään huonoimmassakin tapauksessa erottamaan raiteet toisistaan. Tarkempaan ei ole aihetta, koska satelliittipaikannusvirhe on kuitenkin todennäköisyysuure, ja sen tarkka määrittely on lisäksi vaikeaa.

Sovelluskohteesta riippuen paikannuksen tarkkuus- ja luotettavuusvaatimukset vaihtelevat. Paikannusmenetelmä pitääkin valita siten, että se täyttää riittävällä todennäköisyydellä vaatimukset. Kuvassa 41 paikannuslaite on sinisen ympyrän keskipisteessä. Sinisen ympyrän pinta-ala kuvaa aluetta, jolla satelliittipaikannuslaite tietyllä todennäköisyydellä ilmoittaa sijaitsevänsä. Raiteen tarkkuudella paikannukseen pyrittäessä poikittaissuuntainen virhe ratkaisee. Jos paikannuslaitteen ilmoittama sijainti on punaisella alueella, erehdytään raiteesta. Jos virhettä on enemmän kuin etäisyyttä raiteiden puoliväliin, pitää sen lisäksi sijaita juuri huonoimpaan suuntaan, jotta erehdytään raiteesta. Todennäköisyys erehtyä raiteesta kasvaa, jos molemmilla puolilla ajettavaa raidetta on toinen raide.



Kuva 41. Sininen ympyrä kuvaa paikannustarkkuutta jollakin todennäköisyydellä. Jos paikannuslaite ilmoittaa sijainniksi pisteen punaiselta alueelta, ei raiteen erottaminen osu oikeaan.

6.7 Raiteen tarkkuudella paikantamiseen vaadittavat menetelmät

Raiteen tarkkuudella tapahtuvaan paikannukseen absoluuttinen paikannus ei riitä, vaan tarvitaan DGPS:ään tai vaiheenmittaukseen kykenevä paikannin ja korjaustieto. Mitä tarkempaa paikannuslaitetta ja korjaustietoa käytetään, sen paremmalla todennäköisyydellä oikea raide erotetaan. Satelliittipaikannus ei kuitenkaan yksistään riitä, sillä sen tarkkuus heittelee lyhyen ajan sisällä. Tarkkuutta heikentävät huono satelliittigeometria, katveet ja heijastumat sekä virheet, joita tukiaseman lähettämä korjaustieto ei saa korjattua. Satelliittigeometrian ongelmaan voidaan vaikuttaa valitsemalla paikannuslaite, joka osaa käyttää molempien toiminnassa olevien satelliittipaikannusjärjestelmien signaaleja. Tällöin saadaan paremmalla todennäköisyydellä yhteys riittävän moneen satelliittiin. Tämä ei siltikään aina riitä. Lisäksi tällaiset paikantimet ovat kalliimpia.

Rautatiellä tapahtuvassa satelliittinavigoinnissa käytetäänkin usein apuna myös muita menetelmiä. Näitä menetelmiä ovat takometri, joka mittaa pyörän pyörimistä, kiihtyvyyssantureiden käyttö sekä junan etenemissuunnan muutosta mittaavat anturit. Kiihtyvyyksien ja suunnan muutosten mittaamisen avulla tapahtuvaa navigointia kutsutaan inertiaalinavigoinniksi. Näissä menetelmissä lyhyen ajan tarkkuus on hyvä, mutta pitkän ajan kuluessa virhe kumuloituu. Ne täydentävät hyvin satelliittipaikannusta, jossa pitkän ajan tarkkuus on hyvä. Eri anturien antamia tietoja yhdistetään usein matemaattisella kalman-suodattimella. (87) Lisäksi voidaan käyttää hyödyksi ratojen sijaintitietoa tekemällä vertailua havaintojen ja niiden välillä. Menetelmää kutsutaan Map Matching -vertailuksi.

Muita antureita apuna käyttävän paikannuksen ideana on, että satelliittipaikannuslaitteen mittaamaa sijaintia käytetään paikannukseen, kun sen luotettavuus on riittävän suuri. Luotettavuutta voi arvioida näkyvien satelliittien määrän, HDOP-luvun ja korjaustiedon tuoreuden perusteella (70). Luotettavan tuloksen saannin jälkeen

jatketaan paikan mittaamista muiden antureiden avulla, kunnes saadaan seuraavan kerran riittävän luotettava sijainti satelliittipaikantimelta.

6.7.1 Takometri ja kiihtyvyysanturi

Takometri mittaa pyörän pyörimistä, ja sillä saadaan mitattua sopivissa olosuhteissa tarkasti junan etenemää matkaa. Liukkaissa olosuhteissa saattaa takometrillä saatuun tietoon kertyä virhettä nopeastikin. Virhettä kertyy pyörän luistoissa, joita tapahtuu kiihdyksissä ja jarrutuksissa. Pyörien luistoa voidaan yrittää arvioida kiihtyvyysantureiden avulla, jotka havaitsevat, että kiihtyvyys ei muutu samalla nopeudella kuin takometrin mittatulos. Pidemmällä aikavälillä pyörän kulumisen muuttaa kulkukehän halkaisijaa ja vaikuttaa saatuun mittaustulokseen.

Takometrimittaukseen kulumisen, sorvauksen tai pyörien vaihdon seurauksena aiheutuvat muutokset voidaan automaattisesti kalibroida satelliittipaikannuksen avulla. Tämä edellyttää, että satelliittipaikannus on riittävän pitkään luotettavaa. Kiihtyvyysantureiden käytössä ongelmana on niiden herkkyys tärinälle. Ainakin autonavigaattoreissa on ollut vaikeaa saada kiihtyvyysantureita toimimaan luotettavasti edullisin ratkaisuin. (88) Kiskokalustoliikenteessä tärinä on kuitenkin vähäisempää. Kiihtyvyysanturilla voidaan myös yrittää havaita, vaihtaako juna raidetta vaihteen kohdalla.

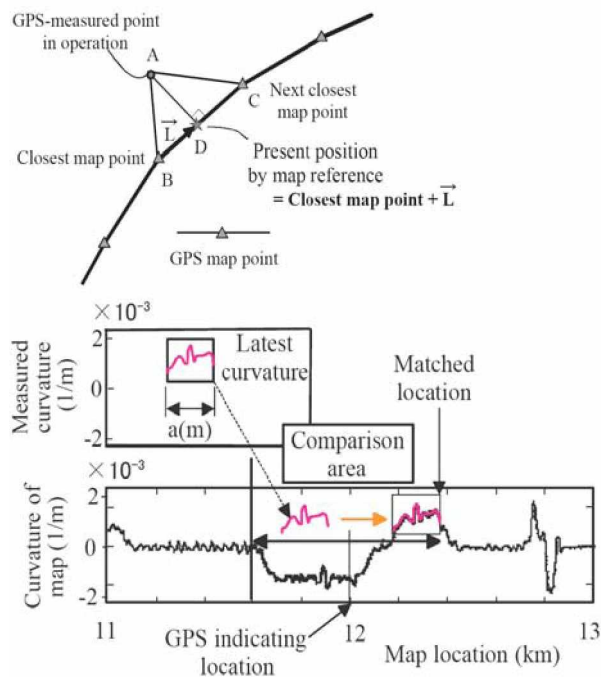
6.7.2 Gyroskooppi ja rotaatioanturit

Junan etenemissuunnan muutosta voidaan mitata gyroskoopilla ja rotaatioantureilla. Junien paikannusjärjestelmissä käytetään usein optista gyroskooppia. Ne ovat kalliita, mutta tarkkoja mittalaitteita. Halvempi tapa mitata kulman muutosta on piistä valmistettu rotaatioanturi. Ne eivät ole yhtä tarkkoja kuin optiset gyroskoopit, mutta tarjoavat moneen sovellukseen riittävän tarkkuuden ja hyvän hintalaatusuhteen. Lisäksi rotaatioantureiden tarkkuus on parantunut kovaa vauhtia.

6.7.3 Map matching

Map Matching -vertailu on tekniikka, jossa käytetään hyväksi ennestään kerättyä tietoa alueesta, jolla liikutaan ja päätellään paikannuslaitteen, kuten satelliittipaikantimen tai inertiaaliantureiden, antaman tiedon avulla, missä sijaitaan. Autolla ajettaessa voidaan esimerkiksi map matching -vertailulla pysyä kartalla jyrkkien käännosten avulla. GPS-paikantimen ilmoittaessa jyrkästä suunnan vaihdosta osataan päätellä, että käännettiin risteyksestä. Juniin map matching -vertailu ei ole yhtä helposti toteutettavissa, koska kaarteet ovat loivia ja niitä edeltävät lisäksi siirtymäkaarteet. Toisaalta rautatieympäristössä voidaan käyttää hyväksi sen yksiulotteista luonnetta. Raiteilla pystyy liikkumaan vain eteen ja taaksepäin. (89) Map matching -vertailua helpottaa lisäksi se, että raidetta voi vaihtaa ainoastaan vaihteiden kohdalla.

Japanissa map matching -vertailua käytetään apuna kallistuvakoristen junien paikannuksessa ja kallistuksen ohjauksessa. Siellä kehitetyssä tekniikassa satelliittipaikannuksen luotettavuuden ollessa matala siirretään saatu sijainti ensin raiteelle ja sen jälkeen aloitetaan map matching -vertailu läheltä tätä aluetta. Map matching -vertailussa verrataan junan mittaamaa kulman muutosta aiemmin kerättyyn aineistoon. Kuvassa 42 on havainnollistettu prosessia. (70)

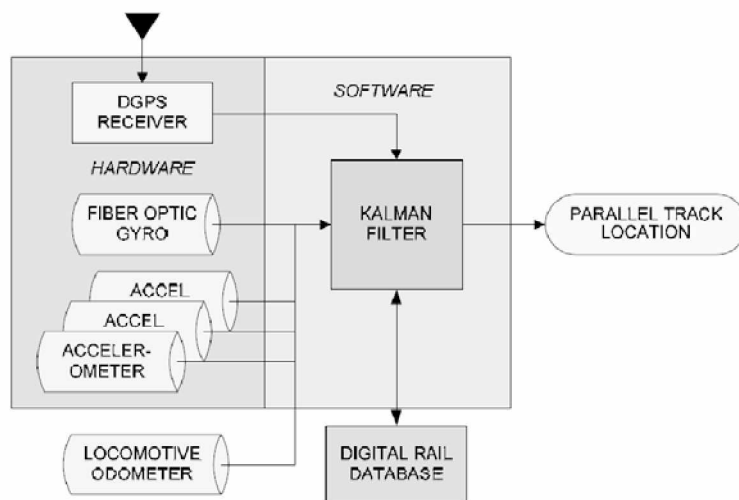


Kuva 42. Vasemman puoleisessa kuvassa on havainnollistettu mitatun sijainnin siirtoa kartalle. Jos mittauksen luotettavuus on heikko, käytetään lisäksi map matching -vertailua, jota oikean puoleinen kuva havainnollistaa. (70)

6.8 Kulunvalvontaan suunniteltuja paikannusjärjestelmiä

Tarkimpia junien paikannukseen suunnitelluista järjestelmistä ovat kulunvalvontaan kehitteillä olevat järjestelmät. Amerikassa on suunniteltu North American Joint Positive Train Control -projektissa satelliittipaikannuksen käyttöä liikenteen ohjauksessa (90). Projektissa kehitetty paikannusjärjestelmä pystyy paikantamaan junan raiteen tarkkuudella. Järjestelmässä käytetään tarkkaa satelliittipaikanninta. Paikannustarkkuus on 95 prosentin todennäköisyydellä alle 10 senttimetriä. Lisäksi järjestelmässä käytetään apuna takometriä, kolmea kiihtyvyyssanturia, tarkkaa gyroskooppia ja map matching -vertailua. Muita antureita käytetään, koska satelliittipaikannin ei aina saa riittävän hyvää näkymää taivaalle.

Raiteet pitää pystyä myös erottamaan toisistaan niin suurella todennäköisyydellä, että pelkän satelliittipaikantimen tarkkuus ei siihen riitä. Kuvassa 43 on järjestelmän toimintakaavio. Vastaavia järjestelmiä on kehitetty myös muualla. Esimerkiksi eurooppalaisessa Integrail-projektissa paikannus tapahtuu miltei samalla menetelmällä. Eurooppalaisessa järjestelmässä vierekkäisten raiteiden tunnistusta ei jätetä pelkästään junassa kulkevan paikannusjärjestelmän varaan, vaan lisäksi on tarkoitus käyttää baliiseja paikoissa, joilla raiteen vaihtaminen on mahdollista. (91) (90)



Kuva 43. North American Joint Positive Train Control Project (NAJPTC) -projektin paikannusjärjestelmän toimintakaavio. (91)

7 SATELLIITTIPAIKANNUSOHJATTU LAIPANVOITELU

Satelliittipaikannusjärjestelmän käyttäminen laipanvoitelulaitteen ohjaamisessa mahdollistaa perinteisiä ohjausmenetelmiä paremman lopputuloksen. Satelliittipaikannusjärjestelmää käytettäessä voidaan voiteluainetta sumuttaa juuri, ja vain silloin, kun sille on tarvetta. Tällöin sumutettu voiteluaine siirtyy laipan ja kiskon kontaktissa kiskolle eikä pääse kertymään laipalle, kuten aika- tai matkaperusteisessa ohjauksessa. Näin vältetään linkoutuvasta voiteluaineesta aiheutuvat ongelmat.

Satelliittipaikannusohjauksen käyttäminen mahdollistaa isojen voiteluainemäärien käyttämisen ja tätä kautta voitelutulosten paranemisen perinteisiin menetelmiin verrattuna. Suurempi voiteluainemäärä vähentää ensimmäisen pyörän kontaktissa tapahtuvaa kulumista. Lisäksi voiteluaine riittää voitelemaan useampia perässä seuraavia pyöriä, kuin perinteisissä ohjaustavoissa käytettävät pienet voiteluainemäärät. Myös kaarrekohtainen voiteluasetusten säätäminen on satelliittiohjausta käytettäessä mahdollista.

7.1 Laipanvoitelulaitteen ohjaukseen vaadittava paikannusteknologia

Laipanvoitelulaitteen ohjaamisessa käytettävää paikannusjärjestelmän toimintatapaa valittaessa pitää ensin päättää, kuinka tarkasti voitelulaitetta halutaan ohjata. Jos paikannusjärjestelmä pystyy erottamaan vierekkäiset raiteet toisistaan, saavutetaan sillä joitakin etuja verrattuna epätarkempaan paikannukseen. Etuna olisi varsinkin se, että voitelua voitaisiin säädellä vaihteiden kohdalla tarkemmin. Raiteen suuntainen tarkkuus ei ole laipanvoitelun ohjauksessa kriittinen tekijä. Raiteensuuntaiseksi tarkkuudeksi riittää hyvin absoluuttisella paikannuksella saavutettava noin 10–15 metrin tarkkuus, mutta tietenkin mitä tarkempi paikannustieto on, sitä paremmin voitelun aloitus saadaan osumaan haluttuun kohtaan.

Jos paikkatieto ei ole aivan tarkkaa, voitelu voidaan aloittaa varmuuden vuoksi hiukan liian aikaisin. Tällöin ei ainakaan myöhästyä. Ja jos voitelu on alkanut liian aikaisin, suurin osa sumutetusta voiteluaineesta kertyy laipalle odottamaan laippakosketusta. Jos halutaan käyttää huomattavasti nykyistä isompia voiteluannoksia, korostuu raiteensuuntaisen tarkkuudenkin vaatimus, koska liika voiteluaine linkoutuu silloin helpommin pois pyörän laipalta.

Jos päätetään, että raiteen tarkkuudella tapahtuvaa voitelua ei tarvita, riittää absoluuttisen paikannuksen tarkkuus. Tällaiset paikannuslaitteet ovat edullisia. Satelliittipaikanninta valittaessa kannattaa kuitenkin valita laite, joka ei ole herkkä häiriöille. Lisäksi paikannustarkkuutta katkaisella alueella voi parantaa käyttämällä apuna takometriä.

Raidekohtaiseen paikannukseen pyrittäessä tarvitaan kalliimpia paikannusjärjestelmiä. Olisi järkevää, jos laipanvoitelulaitteen ohjauksen apuna käytettävän paikannusjärjestelmän voisi jakaa muiden paikannusta tarvitsevien sovellusten

kanssa. Tällöin paikannusjärjestelmän vaatimukset määrittäisi sovellus, joka tarvitsisi tarkinta ja luotettavinta sijaintitietoa. Laipanvoitelulaitteen ohjauksessa sijaintitiedon luotettavuus ei ole kovin merkittävä tekijä, koska laipanvoitelu ei ole turvallisuus-kriittinen sovellus. Voidaan siis hyväksyä, että voitelun ohjauksessa tapahtuu joskus virheitä, joiden seurauksena voidellaan turhaan tai voitelu jää suorittamatta. Paikannusmenetelmä voidaankin valita siten, että tunnistetaan halutulla todennäköisyydellä, millä raiteella juna sijaitsee. Kaarteiden voitelu ei häiriinny, vaikka raidekohtainen tunnistus menisi pieleen, koska vierekkäistäkin raidetta pitää voidella kaarteissa.

Suhteelliseen paikannukseen perustuvat paikantimet ovat kalliita. Laipanvoitelun ohjausta varten kannattaisikin hankkia DGPS-paikannin ja beacon-antenni Liikenneviraston korjaustietoja varten. Tällaisella ratkaisulla pystyttäisiin maltillisin kuluin paikantamaan raiteen tarkkuudella suurella osalla rataverkkoa. Lisäksi järjestelmään tarvittaisiin rotaatioanturi sekä takometri. Myös yksinkertainen map matching -vertailu voisi olla tarpeen.

Lähiliikenteessä käytettävissä matkustajajunissa laipanvoitelulaitteet tarvitaan junan molempiin päihin. Yhden paikannusjärjestelmän pitäisi pystyä määrittämään junan molempien päiden sijainti, jotta molemmissa päissä ei tarvittaisi omaa kallista paikannusjärjestelmää. Junan toisen pään sijainnin määrittäminen ei ole ongelma, kun apuna käytetään raiteiden sijaintitietoja.

7.2 Kaksisuuntaisen tietoliikenneyhteyden etuja

Jos beacon-antennin sijaan paikannusjärjestelmään sisältyisi kaksisuuntainen tietoliikenneyhteys korjaustietojen välitystä varten, voisi tietoliikenneyhteydellä saavuttaa myös muita voitelulaitteen tehokkaan toiminnan kannalta hyödyllisiä ominaisuuksia. Voitelulaitteen luotettavan toiminnan varmistamiseksi voisi voitelulaitteen voiteluainesiiliössä olla pinnankorkeusmittari. Voiteluaineen loppuessa tai kulutuksen pienentyessä alle määrätyn arvon, voisi voitelulaite antaa hälytyksen tapahtuneesta tietoliikenneyhteyttä pitkin. Tietoliikenneyhteydellä voisi myös päivittää voitelulaitteen ohjauskäskyjä. Näin voitaisiin kaikkien voitelulaitteiden ohjaus pitää ajan tasalla, jos voiteluannostelua tai sijainteja haluttaisiin muuttaa.

Junan pituuden ja painon hakeminen olisi myös mahdollista, mikäli sellaista tietoa vain on saatavana sähköisessä muodossa. Tietoliikenneyhteys saattaisi mahdollistaa tulevaisuudessa vaihteiden asennon hakemisen tietokonepalvelimelta. Laipanvoitelulaitteelle voitaisiin myös välittää myös säätietoja. Tällöin voitaisiin jättää sateella tai sateen uhatessa voitelu suorittamatta tai käyttää silloin pienempiä voiteluaineen annostuksia. Tämä saattaisi vähentää voiteluaineen kiskon selälle kulkeutumisriskiä.

Kiskojen tarkastuksessa käytetään ultraäänitutkimusta. Suurien voiteluainemäärien on havaittu vaikeuttavan ultraäänien käyttämistä (44). Tietoliikenneyhteydellä voitaisiin laipanvoitelulaitteiden toiminta lopettaa rataosuudella, jossa tutkimus olisi tarkoitus suorittaa.

Tietoliikenneyhteys saattaisi jopa mahdollistaa ohjaukseen vaadittavien käskyjen saannin keskuspalvelimelta. Tällöin junassa oleva paikannusjärjestelmä ilmoittaisi sijaintinsa palvelimelle, joka antaisi palautteena viestin, jossa kerrotaisiin, koska voitelulaite pitää seuraavan kerran käynnistää, kuinka suurta annoskokoa käyttää ja kuinka pitkä matka voidella. Tällaisen menettelyn hyötynä olisi junaan vaadittavan laitteiston väheneminen. Isossa palvelimessa laskentateho tulisi halvemmaksi ja järjestelmä olisi helpommin huollettavissa ja päivitettävissä. Toisaalta tietoliikenneyhteyden kulut olisivat kalliita ja yhteyden pätkiminen sotkisi järjestelmää. Ratapihoilla, jossa vaihteita on tiheästi, yhteyden pätkimisestä aiheutuvat ongelmat korostuisivat.

7.3 Voitelun ohjauksessa tarvittava paikkatietoaineisto

Paikkatiedolla tarkoitetaan tietokantamuotoista kartta- ja rekisteritietoa, joka kuvaa esimerkiksi luonnonvaroja, maan pinnan muotoja tai, kuten tässä työssä, liikenneverkkoa. Paikkatieto koostuu sijaintitiedosta ja ominaisuustiedosta. Sijaintitiedolla tarkoitetaan pistettä tai pisteitä, jotka kuvaavat kohteen sijaintia jossakin koordinaatistossa. Ominaisuustieto sisältää kohteeseen liittyviä ominaisuuksia kuten vaihteen tunnuksen tai kaarteiden säteen. (82) Paikkatietoaineisto on paikkatiedoista koostuva tietoaaineisto (92).

Laipanvoitelua tarvitaan varsinkin jyrkissä kaarteissa sekä vaihteissa, kun niistä käännytään poikkeavalle raiteelle. Laipanvoitelulaitteen ohjaamiseksi tarvitaan paikkatietoaineisto, joka sisältää riittävät tiedot kaarteista ja vaihteista. Paikkatietoaineistossa olevien sijaintien pitää olla sellaisessa muodossa, että niitä pystytään vertaamaan satelliittipaikantimen antamiin koordinaatteihin. Julkisen hallinnon suosituksen 153 mukaan Suomessa sijainti pitäisi tallentaa EUREF-FIN-muodossa, joka on yleiseurooppalaisen ETRS89-koordinaattijärjestelmän realisaatio Suomen alueella (93). EUREF-FIN on hyvin yhteensopiva satelliittipaikannuksessa käytettävien koordinaatistojen, kuten GPS-järjestelmän käyttämän WGS84-koordinaatiston, kanssa.

Voitelukäsky pitää antaa ennen laippakosketusta, jotta laipalle ehtii kertyä riittävästi voiteluainetta ennen laippakosketuksen syntymistä. Sijainnin, jossa voitelulaitteelle annetaan voitelukäsky, pitää olla säädettävissä, koska siihen vaikuttavat junan kulkunopeus ja voitelulaitteen ominaisuudet. Tästä syystä paikkatietoaineistoksi eivät riitä ainoastaan yksittäiset pisteet, joissa kaarteet ja vaihteet alkavat, vaan tarvitaan lisäksi raiteen keskilinjan sijainti, jota pitkin voidaan liikkua sopivan ennakon saamiseksi. Yksittäisen pisteen halkaisijan kasvattaminen ennakon saamiseksi aiheuttaa voitelun viereiselläkin raiteella.

Raiteen keskilinjan sijainnin tietäminen mahdollistaa myös paikannustarkkuuden parantamisen, koska sen ja edetyn matkan perusteella voidaan laskea uusi sijainti, jos matkalla ei ole ollut vaihteita. Myös paikannuksen tarkkuuden todentaminen testausvaiheessa helpottuu, jos käytössä on raiteiden keskilinjojen sijainnit. Jos ei käytetä raidekohtaista ohjausta, pelkät yksittäiset pisteet riittävät.

Kaarteista on tärkeää tietää kaarteiden ja siirtymäkaarteiden alku- ja loppusijainnit, niiden kaarresäteet, kaartosuunta sekä kaarten pituus. Vaihteista vaadittavia tietoja on paljon, koska ne ovat geometrialtaan monimutkaisempia ja niitä on useanlaisia. Paikkatiedoista pitäisi vaihteiden kohdalla pystyä päättämään eri suunnista saavuttaessa, tarvitaanko voitelua, ja jos tarvitaan, niin kumman puolen pyörille ja kuinka pitkälle matkalle.

Suoraan laipanvoitelulaitteen ohjaamiseen sopivaa paikkatietoaineistoa ei ole vielä olemassa, joten sellainen pitäisi luoda. Tarvittavaa aineistoa voidaan lähteä koostamaan vanhoja jo olemassa olevia aineistoja hyödyntäen, käyttämällä niistä saatavia sijainti- ja ominaisuustietoja ja tarvittaessa tekemällä uusia mittauksia.

Vanhoja radan sijainnin kertovia paikkatietoaineistoja ovat valtion ratojen vaakageometriatiedot ja Maanmittauslaitoksen maastotietokannan pohjalta Liikennevirastolle valmistettu rataverkkoaineisto. Ratojen keskilinjaa on myös kartoitettu radan tarkastuksien yhteydessä satelliittipaikannuksen avulla. Seuraavaksi käydään läpi erilaisia vaihtoehtoja uuden aineiston luontiin sekä niiden ongelmakohtia.

7.3.1 Geometriarekisteri

Suomen rataverkosta on olemassa geometriarekisteri. Aineisto sisältää raiteiden geometrian ja sijainnin määrittelyn. Geometriatiedot on jaettu vaak- ja pystygeometriaan. Laipanvoitelulaitteen ohjauksen kannalta vain vaakageometrialla on merkitystä. Rekisterissä tiedot ovat geometriaelementteittäin. Geometriaelementillä tarkoitetaan pätkiä, joista raide koostuu. Yksittäisen geometriaelementin tyyppi voi olla suora, ympyräkaari, siirtymäkaari, kallistusviiste tai vaihde. Siirtymäkaarista tiedetään, onko elementti 3. vai 4. asteen siirtymäkaari. Vaihteista geometriaelementti kertoo vaihteen tyyppin. Jokaisella geometriaelementillä on lisäksi elementin tunnus ja pituus. Elementin alku- ja loppupisteelle on myös merkitty rata-kilometrilukema, koordinaatit, suuntakulma, kaarresäde ja kallistus.

Vaakageometriatiedoista pystytään laskemaan raiteen keskilinjän sijaintia merkitsevä suora, koska jokaisesta elementistä tiedetään alkupisteen koordinaatit, elementin pituus, suunta ja tyyppi. Esimerkiksi jos elementin tyyppi on suora ja pituus 200 metriä, voidaan alkupisteestä lähteä piirtämään 200 metrin pituista viivaa haluttuun suuntaan. Edellisen elementin loppupisteen koordinaatit ovat aina samat kuin seuraavan alkupisteen koordinaatit. Elementti kerralla edeten saadaan lopulta valmiiksi radan keskilinjän sijaintia kuvaava viiva. Rataverkon sijainnin rakentaminen rataelementtien pohjalta on työlästä ja kallista.

Ratojen sijaintitietojen laskeminen vaakageometriatietojen pohjalta ei ole kuitenkaan täysin ongelmaton. Ratoja on rakennettu aikojen kuluessa ja niiden rakentamisessa on käytetty useita eri koordinaatistoja. Käytetyt koordinaatistot eivät ole sellaisenaan satelliittipaikannuksen kanssa yhteensopivia. Helsingistä Turkuun johtavalla radalla on esimerkiksi käytetty KKJ:n edeltäjää helsinki- eli VVJ-koordinaatistoa sekä KKJ- ja KKJ2-koordinaatistoja. Koordinaattien muutoksessa EUREF-FIN muotoon syntyy aina jonkin verran virhettä, joten on suositeltavaa käyttää suoraan EUREF-FIN-muodossa mitattuja koordinaatteja muuntamisen sijaan, jos se vain on mahdollista (94).

Muunnettaessa KKJ-koordinaatistosta EUREF-FIN-koordinaatistoon pitää käyttää työläämpää, mutta tarkempaa Julkishallinnon suosituksessa 154 annettua

menetelmää, jolla päästään alle 10 cm tarkkuuksiin (95). Muunnoksessa muunnettava alue jaetaan pieniin osiin ja eri osissa käytetään niille sopivia muunnosarvoja. Koko Suomen kattavan aineiston koostamisessa esiintyy ongelmia varsinkin, kun pitää liittää kahdessa eri koordinaatistossa olevia geometriaelementtejä toisiinsa (96).

7.3.2 Maanmittauslaitoksen maastotietokanta

Maanmittauslaitoksella on olemassa maastotietokanta, johon on kerätty maastoa ja rakennettua ympäristöä esittävät tiedot. Maastotietokanta on koko maan kattava Pohjois-Lappia lukuun ottamatta. Tietokantaan on merkitty muun muassa maan liikenneverkko sisältäen rautatiet. (97) Tietojen sijaintitarkkuus vaihtelee alueittain. Niin sanotuilla A-luokan alueilla sijaintitarkkuudeksi on määritetty noin viisi metriä ja B-luokan alueilla noin 20 metriä. Otantatutkimuksissa A-luokan sijaintitarkkuuden on kuitenkin todettu olevan kolme metriä. (98) A-luokan alueet on kartoitettu stereokuvakartoituksella ja B-luokan alueilla tiedot on poimittu muista lähteistä. B-luokan aluetta ei ole enää juuri jäljellä ja lähes kaikki rautatiet kuuluivat vuoden 2007 lopulla A-alueeseen. Vain Rovaniemi–Kemijärvi välillä pieni alue saattoi kuulua B-alueeseen. (99)

Liikenneviraston rautatieosastolla on käytössään Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta työstetty rataverkkoaineisto. Aineistoon ei ole merkattu erillisiä raiteita, vaan ratalinjaa kuvaa yksi viiva, vaikka vierekkäin kulkisi useampia raiteita. Rataverkkoaineisto on tallennettu ArcGis-ohjelman shape-tiedostomuodossa. Linja kulkee radan keskellä.

Rataverkkoaineistoon on myös lisätty ratakilometrit. Koska aineisto ei ole aivan tarkkaa, ei ratakilometrejä ole voitu sijoittaa suoraan rataverkkoaineistoon ilman pieniä muutoksia. Mitoitettu rata on muodostettu siten, että ensin on lähdetty liikkeelle ratakilometriarvoltaan tunnetusta rataosan alkupisteestä. Tästä pisteestä on edetty rataa kuvaavaa viivaa pitkin, kunnes on saavutettu kilometripylväs tai rataosan loppu. Kilometripylvään tai rataosan lopun sijainti tiedetään. Teoreettisesti viivaa pitkin kuljetun etäisyyden pitäisi olla yhtä suuri kuin kilometritolpan tai rataosan lopun ratakilometrilukeman, mutta käytännössä eroa syntyy aina vähän. Ero on tasoitettu edelliselle välille. (100)

Aineistoon voisi ratakilometriä avulla lisätä melko helposti vaakageometriatiedoista löytyvät kaarteiden sijainnit ja niiden säteet. Aineistoon on sijoitettu myös vaihteiden sijainti, mutta koska erillisiä raiteita ei ole merkitty, ei aineistoa pystytä käyttämään radan tarkkuudella ohjaukseen.

7.3.3 Radantarkastuspalveluiden aineisto

Oy VR-Rata Ab:n Radantarkastuspalvelut-yksikkö tarkastaa Suomen ratojen kuntoa. Radantarkastuspalvelut on kerännyt omiin tarpeisiinsa tietoa Suomen raiteiden sijainnista. Keräämiseen on käytetty Elli- ja Emma-radantarkastusvaunuja sekä niiden tarkkaa paikannuslaitteistoa. Sijaintitiedon keräämiseen käytetty laitteisto on hyvin tarkka. Laitteisto koostuu kaksitaajuuksisesta, vaihemittausta suorittavasta GPS-paikantimesta ja tarkasta gyroskoopista. Laitteistolla pystytään tallentamaan raiteen sijaintitietoa jopa mittausvaunujen kulkiessa täydellä vauhdilla eli 200 km/h. Laitteiston satelliittipaikannin käyttää RTK VRS -teknologiaa.

Kerätty sijaintitieto on erittäin tarkkaa. Raiteen keskilinan sijainti tiedetään parhaimmillaan neljän senttimetrin säteen tarkkuudella. Keskilinan sijainti on tiedossa myös tunneleissa ja katvealueilla, koska tarkka gyroskooppi ja takometri pystyvät pitämään sijaintitiedon ajan tasalla pitkiäkin aikoja, vaikka yhteys satelliitteihin on poikki. Radantarkastuspalveluiden paikkatietoaineistoon on lisättävissä myös kaarteiden sijainnit ja säteet sekä vaihdealueiden sijainnit. Aineisto on kerätty WGS84-koordinaatistossa ja se soveltuu täten hyvin käytettäväksi satelliittipaikannukseen perustuvan ohjauksen kanssa. (96)

Paikkatietoaineisto kattaa Suomen raiteet jo nyt laajasti ja tarkasti, mutta sitä laajennetaan ja tarkennetaan jatkuvasti. Ratapihat eivät ole vielä aineistossa kokonaisuudessaan, mutta ne on tarkoitus kartoittaa tulevaisuudessa. Paikkatietoaineisto tulee todennäköisesti siirtymään RHK:n käyttöön vuoden 2010 aikana. (96)

7.3.4 Paikkatietoaineistojen soveltuvuuden vertailua

Laipanvoitelulaitteen ohjauksessa käytettävän paikkatietoaineiston valinnassa pitää ottaa huomioon aineiston kustannukset, sillä saavutettavat hyödyt sekä mahdolliset muut tulevaisuuden tarpeet.

Maanmittauslaitoksen tiedoista kasattu rataverkkoaineisto on aineistoista epätarkin. Aineiston hyvä puoli on, että se on jo olemassa. Aineiston muokkaus laipanvoitelulaitteen ohjauksessa käytettävään muotoon olisi nopeaa ja edullista. Rataverkkoaineisto ei kuitenkaan mahdollistaisi raidekohtaista voitelun ohjausta. Tästä syystä sen kanssa riittäisi käytettäväksi edullinen absoluuttiseen paikannukseen perustuva satelliittipaikannin. Kalliimmalla ja tarkemmalla paikannuslaitteella ei saavutettaisi juurikaan hyötyä. Suuressa osassa Suomea raiteita on vain yksi tai kaksi. Vierekkäiset raiteet ovat lisäksi lähellä toisiaan ja niiden kaarresäteet miltei yhtä suuret. Kaarteet ovat tällaisilla alueilla rataverkkoaineiston tarkkuudellakin laipanvoitelulaitteen ohjaukseen riittävän tarkasti määritettävissä.

Hyötynä kaarreanturiohjaukseen verrattuna saavutettaisiin rataverkkoaineistolla mahdollisuus aloittaa voitelu ennen kaarretta. Vaihteiden voitelun ohjaamiseen rataverkkoaineisto ei olisi kovinkaan hyvä. Voitelua jouduttaisiin suorittamaan monesti turhaan, koska ei tiedettäisi, sijaitseeko aineistoon merkitty vaihde kuljettavalla vai vierekkäisellä raiteella, ja näin ollen ei pystyittäisi päättämään ajetaanko vaihteesta suoraan läpi ilman voitelun tarvetta. Ongelma korostuisi esimerkiksi vilkkaasti liikennöidyllä Helsingin lähiliikennealueella. Rataverkkoaineisto tarjoaa paikkatietoaineiston edullisesti toteutettavaan, mutta ei niin tehokkaaseen laipanvoitelulaitteen ohjaukseen.

Geometriarekisteristä koostettu paikkatietoaineisto mahdollistaisi raidekohtaisen voitelun ohjauksen. Koko Suomen sisältävän paikkatietoaineiston koostaminen sen pohjalta on kuitenkin työlästä ja kallista. Lisäksi geometriarekisteristä koostettu aineisto häviää tarkkuudessa radantarkastuspalveluiden aineistolle. Radantarkastuspalveluiden keräämä aineisto onkin parempi vaihtoehto raiteen tarkkuudella tapahtuvaan laipanvoitelulaitteen ohjaukseen, jos sen käytöstä vain päästään sopimukseen. Jos halutaan saavuttaa kaikki satelliittipaikannukseen perustuvan ohjauksen hyödyt, on radantarkastuspalveluiden aineisto tarkoitukseen sopivin.

7.3.5 Aineiston hallinta ja omistus

Tulevaisuudessa yhä enenevässä määrin, ja jo nykyäänkin, on Suomen rautateillä useita sovelluksia, jotka tarvitsevat tarkkaa paikkatietoaineistoa. Paikkatietoaineiston kerääminen ja ylläpitäminen on kallista. Kiskoliikenteen kilpailukyvyyn ylläpitämiseksi ja kehittämiseksi sekä resurssien järkevän käytön vuoksi ei ole mielekästä, että Suomessa useat eri toimijat työstävät itselleen kukin oman paikkatietoaineiston tarpeisiinsa. Jonkin tahon pitäisi hankkia ja ylläpitää paikkatietoaineistoa niin, että muut sitä tarvitsevat voisivat tarpeen mukaan käyttää aineistoa, mahdollisesti kohtuullista korvausta vastaan. Paikkatietoaineiston omistajan pitäisi olla puolueeton taho, jotta tulevaisuudessa kaikki operaattorit olisivat samassa kilpailullisessa asemassa. Liikennevirasto olisikin mahdollinen taho hankkimaan ja ylläpitämään paikkatietoaineistoa sekä omiin että muiden tarpeisiin.

Paikkatietoaineiston käyttökelpoisuuden vuoksi pitäisi miettiä, mitä mahdollisia käyttökohteita sillä on nykyään ja tulevaisuudessa sekä miettiä, millaisia vaatimuksia käyttökohteet asettavat aineistolle ja sen ylläpidolle. Laipanvoitelulaitteen ohjaus ei aseta paikkatietoaineistolle vaatimuksia turvallisuuden kannalta, mutta tulevaisuudessa aineistolla saattaa hyvinkin olla käyttökohteita, jotka vaativat turvallisuuden takaamiseksi paikkatietoaineiston oikeellisuutta. Paikkatietoaineiston kohdalla tulisikin miettiä esimerkiksi, kuinka aineisto pysyy päivitettyinä, kuka saa tehdä siihen muutoksia ja kuinka verifioidaan, onko data oikeaa ja ehjää.

7.4 Vaatimukset voitelulaitteelle

Aika- ja matkaperusteisessa ohjauksessa on tärkeää, että voitelulaite sumuttaa voiteluaineen laipalle siten, että sitä ei kerry laipalle liikaa ja se kiinnittyy metallin pintaan tehokkaasti. Tähän on pyritty pienellä pisarakoolla, pienellä voiteluainemäärällä sekä sumutuksella, joka kestää usean sekunnin ajan. Laipanvoitelulaitteesta on perinteisesti haettu apua ensisijaisesti veturin eniten kulumien, menosuuntaan ensimmäisten pyörien kulumisen vähentämiseen. Tällöin ei välttämättä tarvita kovin suuria voiteluannoksia, koska voiteluaineen ei tarvitse riittää taemmille pyörille.

Aika- tai matkaperusteisesti ja satelliittipaikannuspohjaisesti ohjatuilta voitelulaitteilta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia. Erot johtuvat siitä, että satelliittipaikannuspohjaisessa ohjauksessa voidaan voidella ainoastaan, kun laippakosketus tapahtuu. Tällöin liian voiteluaineen kertymisestä laipalle ei aiheudu ongelmaa kuten aika- ja matkaperusteisessa ohjauksessa. Tämä mahdollistaa suurempien voiteluannosten käytön. Voitelulaitteen pitäisikin pystyä suurempien annosten sumuttamiseen kuin aika- tai matkaperusteisen ohjauksen kanssa käytettävien laitteiden.

Kaarten tunnistavan anturin ohjaamalta voitelulaitteelta voidaan vaatia samoja ominaisuuksia kuin satelliittipaikannuspohjaisesti ohjatulta laitteelta. Kaarreanturi-ohjausta täydentämään käytetään kuitenkin usein myös aika- tai matkaperusteista ohjausta, jolloin laitteeseen kohdistuvat samat vaatimukset kuin pelkällä aika- tai matkaperusteisella ohjauksella käytettäviin laipanvoitelulaitteisiin.

Satelliittipaikannuspohjaisen ohjauksen kanssa voidaan myös käyttää vain pieniä annoksia suihkuttavia voitelulaitteita, jos ei pyritä pienentämään kiskojen kulumista huomattavasti, vaan halutaan vain vähentää laipalle kertyvästä voiteluaineesta

kalustolle aiheutuvia haittoja. Järkevämällä ohjauksella tällaisillakin laitteilla voidaan pienentää kulumista, koska voiteluannosta voidaan kasvattaa laitteen maksimiin ja voitelulaite voidaan käynnistää sopivasti ennen laippakosketusta. Tällöin laipalle ehtii kertyä voiteluainetta maksimaalinen määrä ilman, että voiteluaine linkoutuu pois laipalta. Tässä selvityksessä ei löytynyt tutkimustuloksia siitä, kuinka paljon laipalle voi voiteluainetta sumuttaa, ennen kuin se alkaa lentää pois. Asiaa pitäisi tutkia käytännön kokein.

Voitelukalvon paksuus vaikuttaa vahvasti kulumiseen. Jos pyritään kasvattamaan merkittävästi kiskojen elinikää ja vähentämään pyörien kulumista ratapihojen vaativissa olosuhteissa nykyisestä, pitäisi voitelulaitteen kyetä sumuttamaan nykyistä suurempia määriä voiteluainetta. Tällöin voiteluainetta riittäisi voitelemaan useamman pyöräkerran pyöriä. Voiteluaine pitää myös pystyä sumuttamaan lyhyen ajan kuluessa, koska kovassa vauhdissa juna etenee muutamassa sekunnissa pitkän matkan. Sumutuksen olisi optimimaalisessa tapauksessa oltava yhtäjaksoista koko sen ajan, kun voitelua tarvitaan. Mahdollisuus toteuttaa voitelupulsseja tiheästi ei kuitenkaan oleellisesti eroa yhtäjaksoisesta sumutuksesta. Tässä selvityksessä ei löydetty myöskään tutkimustuloksia, joista selviäisi, kuinka paljon voiteluainetta laipalle voi sumuttaa laippakosketuksen tapahtuessa ilman, että se kulkeutuu kulkukehälle. Tätäkin asiaa pitäisi tutkia käytännön kokeilla, ennen kuin sopiva laipanvoitelulaite voidaan valita.

Laipanvoitelulaitteen annostuksen tai pulssien tiheyden olisi oltava säädettävissä, jotta kaarrekohtainen voiteluannostuksen säätäminen olisi mahdollista. Voitelulaitteen pitää myös mahdollistaa vain toisen puolen pyörän laipan voitelu, jotta voiteluainetta ei kulu turhaan ja sitä ei pääse roiskumaan junan alustaan.

Laipanvoitelulaitteen tärkeitä ominaisuuksia ovat myös luotettavuus, helppo huollettavuus sekä mahdollisuus käyttää siinä jäykkiäkin rasvoja. Luotettavuus on merkittävä tekijä, sillä maailmalla on ollut huonoja kokemuksia laipanvoitelulaitteiden toimintavarmuudesta. Toimintavarmuutta voivat laskea varsinkin talvikelit, jolloin suuttimet saattavat tukkeutua huonosti talveen sopivissa malleissa. Jäykistynyt rasva ja paineilmassa oleva kosteus ovat talven ongelmia. Helposti suoritettava huolto lisää luotettavuutta ja pitää kulut matalampina. Jäykät rasvat ovat laipanvoiteluun sopivampia. Huomioon pitää myös ottaa, että laitteessa tulisi voida käyttää useiden eri valmistajien rasvoja, jotta maahantuojien kilpailuttaminen olisi mahdollista.

7.5 Voitelulaitteen ohjaus

Paikkatietoon perustuva laipanvoitelulaitteen ohjaus antaa täyden kontrollin voitelun ohjaamiseen. Voitelun aloitus- ja lopetuskohtaa voidaan säätää tarkasti. Yksittäisille kaarteille ja erityyppisille junille voidaan luoda omat säädöt, joissa on erilaiset aloitus- ja lopetuskohdat sekä tilanteeseen sopiva voiteluaineen annostelu. Junan kulkunopeus vaikuttaa laippavoimiin, tarvittavaan ennakoon sekä alueeseen, jossa laippakosketus tapahtuu.

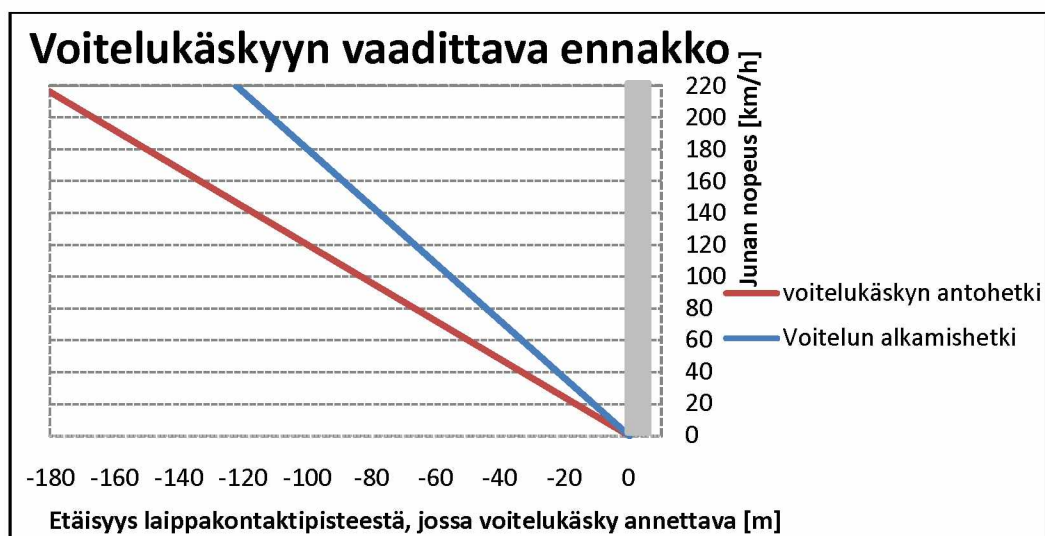
Raiteeseen kiinteästi asennetuilla voitelulaitteilla on havaittu, että voiteluaine siirtyy pyöriille parhaiten, kun laippakontaktin voimat eivät ole vielä kasvaneet liian suuriksi. Voidaan ajatella, että myös kalustoon asennetuilla laipanvoitelulaitteilla

voiteluaineen leviäminen taempiin pyöriin toimii paremmin kaartein alussa, kun laippavoimat ovat vielä pienempiä. Riittävän paksun voiteluainekalvon pitäisi siis olla odottamassa laipalla laippakosketuksen alkaessa. Mitä enemmän voiteluainetta laipalla kosketushetkellä odottaa, sen paremman voi olettaa voitelutuloksen olevan. Riskinä on kuitenkin voiteluaineen siirtyminen kiskon selän ja pyörän kulkukehän väliin, mikäli käytetään liian isoa annostusta.

Kalustoon asennetun laipanvoitelulaitteen ohjauksessa on oleellista ottaa huomioon junan kulkudynamiikka. Laippakosketus ei tapahdu kaikilla junilla samassa kohtaa kaarretta. Jotkin veturit saattavat selvitä ilman laippakosketusta sellaisesta kaarteesta, jossa toisilla laipat osuvat kiskoon. Sopivat voitelun aloitus- ja lopetuskohdat selviävät helpoiten kokeilemalla tai kulkudynamiikkaan perehtyneen henkilön ammattitaitoa käyttäen. Esimerkiksi Sr2-veturi poikkeaa kulkudynamiikaltaan huomattavasti muista vetureista, ja laipanvoitelusta ei sen kohdalla ole välttämättä mitään hyötyä.

Voitelulaitteilla on olemassa viive voitelukäskyn ja voiteluaineen sumutuksen alkamisen välillä. Viivettä aiheuttavat ainakin pitkät suuttimelle johtavat putkistot. Voitelulaitteella menee myös aikaa, ennen kuin riittävän paksu voiteluainekalvo on saatu sumutettua laipalle. Tähän aikaan vaikuttaa voiteluainevirrän suuruus. Voitelukäskyn antoajankohta vaihtelee nopeudesta, voitelulaitteen tyypistä ja säädöistä riippuen.

Kuvaajassa 2 on havainnollistettu vaadittavan ennakon muuttumista ajonopeuden suhteen. Kuvaajassa on oletettu, että aika voitelukäskyn ja voitelun alkamisen välillä on sekunti. Voiteluaineen sumutukseen on oletettu kuluvan kaksi sekuntia. Harmaa alue kuvaa epävarmuutta paikannuksen suhteen. Epävarmuuden suuruus riippuu paikannustavasta. Sumutus pitää aloittaa mieluummin liian aikaisin kuin liian myöhään. Kuvaajassa käytetyt arvot eivät perustu mihinkään tiettyyn voitelulaitteeseen, koska tarkkoja tietoja viiveistä ei ollut saatavissa. Jyrkkiin vaihteisiin ei voida ajaa täyttä vauhia, joten nopeuserot vaihteisiin ajettaessa eivät ole yhtä suuria kuin kaarteita lähestyttäessä. Ennakon on hyvä olla kuitenkin niissäkin säädettävissä.



Kuvaaja 2. Nopeuden vaikutus voitelukäskyn antohetkeen.

Useat voitelulaitteet toteuttavat voitelua pulsseittain. Voitelupulssien tiheyttä säätämällä voidaan vaikuttaa kaarteeseen sumutettavan voiteluaineen määrään. Tarvittavan voiteluaineen määrään vaikuttaa junan nopeus ja pituus, kaarteiden jyrkkyys sekä kaarteissa vallitseva liikenteen tiheys. Voiteluaineen poistumiseen vaikuttavat ympäristön olosuhteet. Auringonpaiste ja vesisateet poistavat voiteluainetta kiskoilta. Aiemmilta junilta saattaa jäädä kaarteeseen voiteluainetta ja, jos liikenteen tiheys on suuri, saattaa kiskoille kertyä ajan kanssa liikaa voiteluainetta.

Mikäli kiskolle ei pystytä siirtämään riittävästi voiteluainetta yhden pyörän laipan välityksellä, voisi suuremman voiteluainemäärän saada siirrettyä käyttämällä veturin tai junayksikön molempia voitelulaitteita yhtä aikaa. Veturin voitelulaitteiden sumuttama voiteluaine jäisi voitelemaan vedettäviä vaunuja, kun taas junayksikön jälkimmäisen voitelulaitteen sumuttama voiteluaine jäisi odottamaan seuraavaa junaa.

7.5.1 Voitelu suoralla radalla

Suoralla radalla voitelusta ei ole hyötyä, koska pyörien laipat eivät yleensä osu kiskoon. Yhdysvalloissa voitelun on kuitenkin todettu tuovan energiansäästöjä myös suorilla osuuksilla, mutta säästöt selittynevät venäläisen standardin mukaisten telien erilaisilla kulkuominaisuuksilla. Vaikka venäläinen kalusto saattaisikin tarvita Suomessa voitelua suorilla osuuksilla, eivät veturin pyörien laipat osuisi silloin kiskoihin eikä voiteluaine tästä syystä pääsisi siirtymään kiskolle.

Junan jarruttaessa saattavat pyörien laipat osua kiskoon suorallakin osuudelle. Jos junan etuosa jarruttaa tehokkaammin kuin takaosa, menevät vaunut siksak-muotoon. Laipanvoitelulaitteen käytöstä ei tällaisessa tilanteessa kuitenkaan olisi juuri hyötyä, koska voiteluaine ei etene tehokkaasti veturin laipoilta kiskoon. Kiskojen ja pyörien kulumisen ei ole myöskään havaittu olevan ongelma tällaisessa tilanteessa.

7.5.2 Voitelu kaarteissa

Kaarteissa, joiden kaarresäde on niin pieni, että laippakosketusta tapahtuu, tarvitaan voitelua ulkokaarteiden puoleisille pyörille. Sisäkaarteiden puoleisilla pyörillä ei tapahdu laippakosketusta. Sisäkaarteiden puoleiset kiskot kuluvat usein aaltomaiseksi, mutta laipanvoitelulla ei voida vähentää tämän tyypistä kulumaa.

Veturin tyyppi ja nopeus vaikuttavat siihen, kuinka jyrkässä kaarteissa laipanvoitelulaitetta tarvitaan. Uusissa suurten nopeuksien kalustoissa vaaditaan nykyään laipanvoitelulaitteen käyttöä kaarteissa, joiden säde on 1200 metriä tai pienempi. Kiskojen sivuttaiskulumista on kuitenkin havaittu vain 1000 metrin ja sitä pienemmissä kaarteissa (17). Raja voitelulle voisikin kulkea hitaammilla junilla 800–1000 metrin kaarresäteissä nopeudesta riippuen.

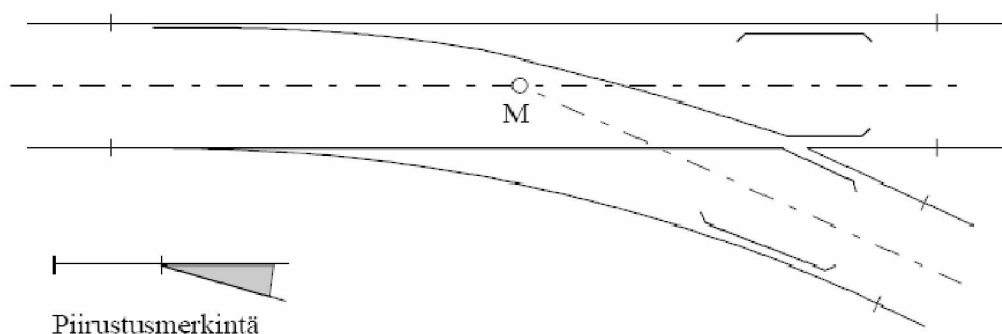
Suomessa on kaarteita, joissa kiskot kuluvat poikkeuksellisen paljon. Syynä tähän on havaittu kaarteiden sijaitsevan liikenteellisesti paikassa, jossa junat jarruttavat usein. Junan jarruttaessa kaarteissa puskevat vaunut ulkokaarteiden puoleista kiskoa kohden kovemmalla voimalla kuin junan kulkiessa kaarteissa ilman jarrutusta. Laipanvoitelulaitteen ohjauksessa pitäisikin huomioda, mikäli juna hidastaa vauhtiaan kaarteissa. Tällöin laipanvoitelulaite voisi voidella kaarteissa, jossa ei muuten olisi voitelulle tarvetta ja kasvattaa voiteluannosta kaarteissa, jossa voideltaisiin ilman jarrutustakin. Voitelusta ei toisaalta ole hyötyä, jos veturin laipat eivät osu kiskoon.

Olisikin selvítettävä, kuinka pyöräkerta, johon laipanvoitelulaite on asennettu, käyttäytyy jarrutustilanteessa.

Pitkän ja raskaan junan keskimmäiset vaunut saattavat painautua kaarteessa sisäkiskoja vasten, jos veturi kiskoo vaunuja kovalla voimalla kaarteessa. Tällainen tilanne voi esiintyä lähinnä kiihdytettäessä tai ajettaessa ylämäkeen. Sisäkiskoissa ei ole kuitenkaan havaittu sivukulumaa, joten voitelulle ei ole tarvetta tällaisessa tilanteessa. Voitelulla voitaisiin säästää korkeintaan energiaa. Veturin sisäkaarten puoleinen laippa, johon laipanvoitelulaite sumuttaa, ei todennäköisesti kuitenkaan osu kiskoon, joten kiskon voitelua ei ole edes mahdollista suorittaa perässä seuraavia vaunuja varten.

7.5.3 Voitelu vaihteissa

Yksinkertaisiin vaihteisiin kuuluvat suorat vaihteet, tasapuoliset vaihteet ja kaarrevaihteet. Suorat vaihteet ovat näistä yleisimpiä. Kuvassa 44 on suora, oikeanpuolinen, yksinkertainen vaihde. Junan ajaessa suoraan yksinkertaiseen vaihteeseen laippakosketus syntyy, jos juna ajaa poikkeavaa raidetta pitkin, koska tällöin kulkureitillä on jyrkkä kaarre.

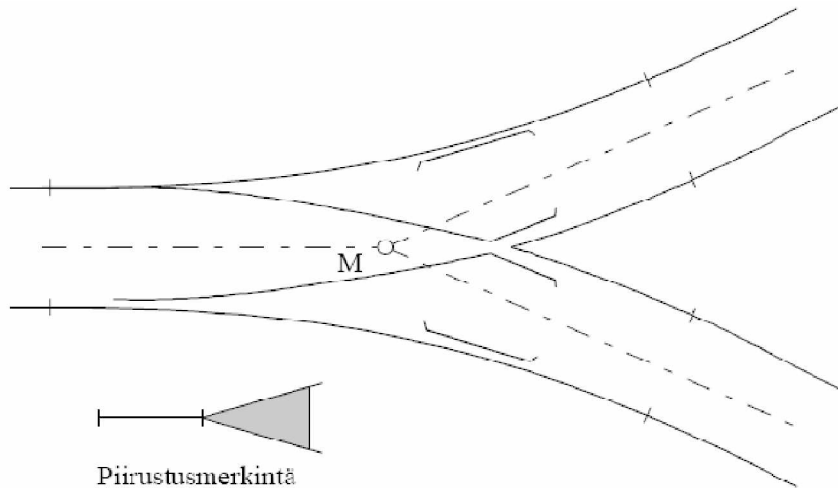


Kuva 44. Oikeanpuolinen yksinkertainen suora vaihde. (6)

Lähestyttäessä suoraa, yksinkertaista vaihdetta on voitelun kannalta merkitystä suunnalla, josta vaihteeseen ajetaan. Jos ajetaan poikkeavaa raidetta pitkin myötävaihteeseen, tarvitaan aina voitelua. Ajettaessa suoraa raidetta myötävaihteeseen ei voitelua tarvita. Vastavaihteeseen ajettaessa voitelun tarpeen määrittää vaihteen asento. Vaihteen asennon tietäminen vähentää turhaa voitelua, koska tällöin ei tarvitse voidella varmuuden vuoksi.

Vaihteeseen ajettaessa pitää tietää myös kaarten suunta, jotta voitelulaitteelle voi antaa käskyn voidella vain ulkokaarten puoleisia pyöriä. Ajettaessa vastavaihteeseen ja poikkeavalle raiteelle alkaa laippakosketus kielisovituksen kohdalla. Kosketus tapahtuu näin ollen jo ennen matemaattista keskipistettä, mikä pitää ottaa huomioon voitelua säädettyäessä.

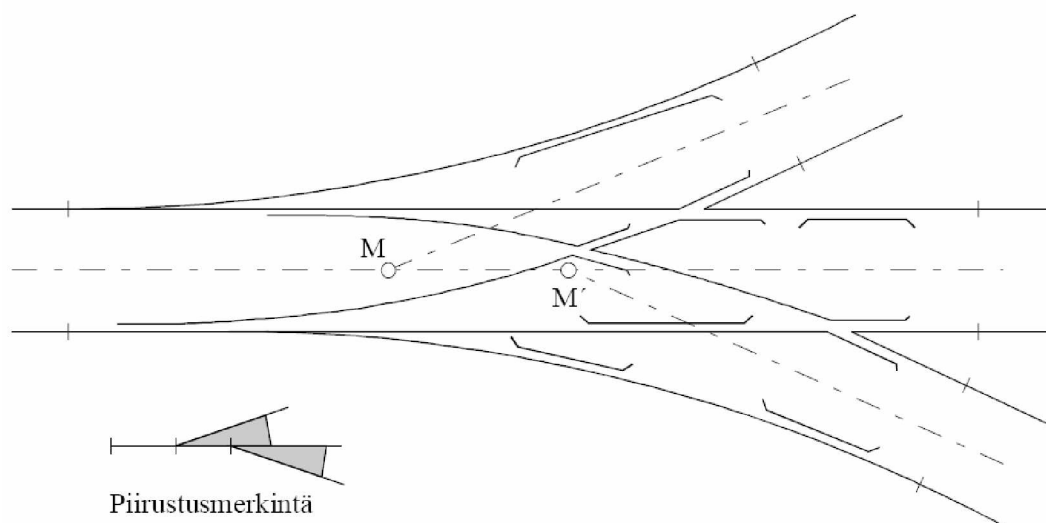
Kuvassa 455 on tasapuolinen yksinkertainen vaihde. Tällaiseen vaihteeseen ajettaessa voitelua tarvitaan aina riippumatta saapumissuunnasta tai vaihteen asennosta, sillä kaarros on aina jyrkkä. Saapumissuunnalla, raiteella sekä vaihteen asennolla on merkitystä, jotta tiedetään kumman puolen pyöriä pitää voidella.



Kuva 45. Tasapuolinen yksinkertainen vaihde. (6)

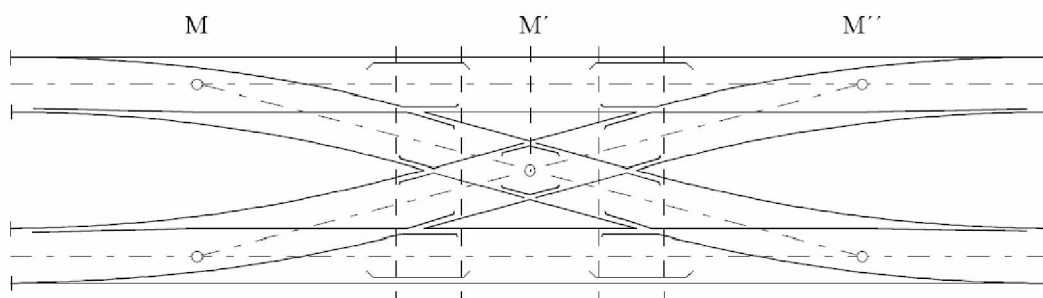
Yksinkertaisiin vaihteisiin kuuluvat myös yksinkertaiset sisä- ja ulkokaarivaihteet. Ne ovat kuitenkin harvinaisia. Niissä vaihde sijaitsee kaarteessa ja poikkeava raide kääntyy sisä- tai ulkokaarten puolelle. Niissä pitää voidella aina, mutta ajosuunta, ajettava raide ja vaihteen asento ratkaisevat, kumpaa puolta voidellaan. Sisäkaarivaihteessa tiedetään aina, kumpaa puolta pitää voidella, mutta ulkokaarivaihteessa vaihteen asento ja saapumissuunta vaikuttavat asiaan.

Kaksoisvaihteet koostuvat kahdesta sisäkkäin kytketystä yksinkertaisesta vaihteesta kuten kuvassa 466 havainnollistetaan. Ensimmäinen poikkeava raide määrää vaihteen puoleisuuden. Tässäkin vaihdetyypissä ajosuunta ratkaisee, tarvitseeko pyöriä voidella ja miltä puolelta. Ajettaessa suoraa raidetta pitkin myötävaihteeseen ei voitelua tarvita. Jos myötävaihteeseen ajettaessa käännetään jommallekummalle poikkeavista raiteista, tarvitaan voitelua ulkokaarten puolelle. Jos vaihteen asento ei ole tiedossa, joudutaan myötävaihteeseen ajettaessa voitelemaan varmuudeksi molempien puolien pyöriä. Vastavaihteeseen ajettaessa pystytään voitelun tarve päättämään saapumisraiteen perusteella. Saavuttaessa vaihteelle jompaakumpaa poikkeavaa raidetta pitkin tiedetään, kumman puolen pyöriä pitää voidella. Suoraa raidetta pitkin saavuttaessa voitelu ei ole tarpeen.



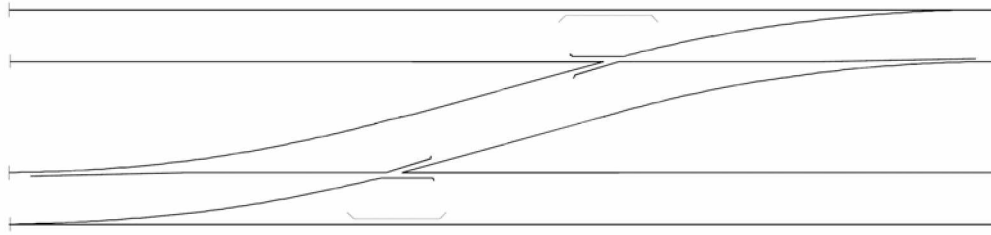
Kuva 46. Vasemmanpuolinen kaksoisvaihde. (6)

Sovitetun raideristeyksen perusratkaisu on esitetty kuvassa 47. Tällainen vaihde liittää vierekkäiset raiteet toisiinsa. Voitelutarpeen sovitetun raideristeyksen perusratkaisussa määrittää vaihteiden asento. Jos vaihteiden asento ei ole tiedossa, täytyy voitelulaitteen voidella varmuuden vuoksi saavuttaessa mistä suunnasta tahansa. Voiteluainetta pitää lisäksi sumuttaa molempien puolien pyörille, koska sovitetussa raideristeyksessä on kaarteita molempiin suuntiin raidetta vaihdettaessa.



Kuva 47. Sovitettu raideristeys. (6)

Vaihdettaessa vierekkäiseltä raiteelta toiselle tapahtuu vaihto usein kahta yksinkertaista vaihdetta käyttäen. Kuva 488 havainnollistaa tilannetta. Tällaisessa tilanteessa vaihteille on mahdollista saada neljää vaihtoehtoista reittiä pitkin. Kahdesta suunnasta saavuttaessa voidaan jättää voitelematta, mutta vastavaihteeseen ajettavista suunnista saavuttaessa joudutaan voitelemaan varmuuden vuoksi. Varmuudeksi joudutaan voitelemaan molempien puolien pyöriä, koska kaksi peräkkäistä vaihdetta kaartavat eri suuntiin ja ovat lähellä toisiaan.



Kuva 48. Raiteen vaihto kahta yksinkertaista vaihdetta käyttäen. (6)

Tieto edessä olevan vaihteen asennosta vähentäisi turhan voitelun tarvetta. Tietoa ei kuitenkaan ole helposti saatavilla. Juna saa tietoa tulevista vaihteista automaattisen kulunvalvontajärjestelmän (JKV) välityksellä. Veturissa on JKV-veturilaitte, joka lukee raiteella olevista lähettimistä, baliiseista, junalle annettuja ohjeita. JKV-veturilaitteessa on tieto, milloin edessä on kääntyvä vaihde, jonka takia pitää hiljentää.

JKV-veturilaitteissa on kaksi porttia, joista on saatavissa ulos JKV-järjestelmän tietoja. Toinen porteista on käytössä, mutta toinen on todennäköisesti kaikissa laitteissa vapaa. Siitä olisi saatavissa ulos baliisien lähettämät tiedot, tosin vaikeasti tulkittavassa muodossa. JKV-järjestelmän tietojen pohjalta ei kuitenkaan täysin pysty päättelemään, mitkä vaihteet ovat kääntyneenä. JKV:n valvoman vaihdealueen sijainti ei ole määritelty kovin tarkasti johtuen järjestelmässä käytetystä etäisyyden määrittämisperiaatteesta. JKV:llä ei ole myöskään tiedossa yksittäisen vaihteen asentoja, vaan ainoastaan tieto, että edessä olevalla kulkutiellä on ainakin yksi poikkeavalle raiteelle johtavaan asentoon käännetty vaihde. JKV:n antama vaihdealue alkaakin usein jo ennen vaihdetta, jonka asentoa ei ole käännetty poikkeavalle raiteelle. JKV:llä ei ole myöskään tietoa vaihteista, jotka sijaitsevat alueella, jolla nopeusrajoitus on enintään vaihdenopeuden suuruinen. (66)

JKV-veturilaitteen tietojen käyttäminen laipanvoitelulaitteen ohjaamiseen auttaisi kuitenkin joissain tilanteissa ongelmista huolimatta. Järjestelmästä tulisi samalla kuitenkin monimutkaisempi ja riippuvainen JKV-järjestelmän muutoksista.

Vaihteen asentotietoa voisi olla mahdollista hakea myös suoraan tietoliikenneyhteydellä sitä varten perustetulta palvelimelta, joka olisi yhteydessä liikenteenohjaukseen. Liikenteenohjaus on kuitenkin jaettu Suomessa usealle eri keskukselle, joissa käytetään eri valmistajien järjestelmiä. Tämä monimutkaistaa tilannetta, koska jokaiseen järjestelmään tarvittaisiin rajapinta, jonka kautta tietoja vaihteiden asennoista pystyisi hakemaan. Vaihteen asentotietojen hakeminen palvelimelta vaatisi myös tietoliikenneyhteyden palvelimelle voitelulaitetta ohjaavalta tietokoneelta. Tulevaisuudessa, kun liikenteenohjauskeskusten järjestelmiä yhtenäistetään, voisi vaihteen asentotiedon hakeminen järjestelmistä tulla kuitenkin mahdolliseksi.

Vaikka vaihteen asentoa ei tiedetä, voidaan ylimääräistä voitelua pyrkiä vähentämään muulla päättelyllä. Moniin vaihteisiin voi ajaa kovempaa, jos ei olla kääntymässä poikkeavalle raiteelle. Nopeustiedon perusteella voidaankin joissain tilanteissa päätellä, onko junan nopeus niin suuri, että vaihteessa ei tulla vaihtamaan raidetta.

Voiteluaineen turhaa kulutusta voidaan myös vähentää ohjaamalla laipanvoitelulaitetta sumuttamaan voiteluainetta eri määrät sen mukaan, kuinka

varmasti voitelun tarve tiedetään. Ajettaessa yksinkertaiseen vaihteeseen poikkeavaa raidetta pitkin tiedetään voitelua tarvittavan ja voiteluannos voi olla mahdollisimman suuri. Kun taas ajetaan vastavaihteeseen, voidaan voitelu säätää vähäiseksi. Tiheästi liikennöidyllä alueella saattaisi myötävaihteeseen ajaneesta junasta jopa jäädä kiskoille voiteluainetta seuraavaa, mahdollisesti vastavaihteeseen ajavaa junaa varten, jolloin vastavaihteeseen ajettaessa voitelun tarve olisi pienempi. Laipanvoitelulaitteen sumuttaman voiteluaineen kulkeutumista ja säilymistä kiskoilla pitäisikin tutkia kokeellisesti.

Junayksiköissä voitelulaite on molemmissa päissä junaa. Voitelulaitteiden etäisyyttä voitaisiin hyödyntää voitelemalla perässä tulevalla voitelulaitteella vaihteita, koska etummaiseen vaunuun asennettu kiihtyvyyssanturi ehtisi hyvissä ajoin ilmoittaa kääntymisestä poikkeavalle raiteelle. Paikkaohjattu voitelu mahdollistaa lisäksi tällaisen menettelyn käyttämisen rajoittamisen vain tiheästi liikennöityihin vaihteisiin. Tiheästi liikennöidyissä vaihteissa voiteluaine ei ehdi poistua ennen seuraavaa junaa. Tällainen voitelu toimisikin parhaiten juuri alueilla, joissa liikenne on usein tiheää.

Voitelulaitteen ohjausta suunniteltaessa pitäisi myös selvittää, kuinka nopeasti voidaan havaita, ettei juna käännykään poikkeavalle raiteelle. Tällöin voitaisiin lopettaa varmuuden vuoksi aloitettu voitelu mahdollisimman pian. Satelliitti-paikannus ei varmastikaan olisi tähän tehtävään paras mahdollinen hitaan päivitystaajuuden takia, vaan pitäisi käyttää jotain muuta anturia.

7.5.4 Voitelu ratapihoilla

Ratapihoilla, joissa vaihtotyötä tehdään paljon, on voitelulle suuri tarve. Paikkatieto-ohjattu voitelulaite voisi tuoda huomattavia säästöjä veturin pyörien ja kiskojen kulumiseen. Ratapihat ovat paikannusjärjestelmän kannalta haasteellisia, koska pienellä alueella sijaitsee useita vaihteita. Paikannusjärjestelmän toimintaa helpottaisi huomattavasti mahdollisuus käyttää paikoituksessa hyödyksi vaihteiden asentotietoa.

Jos raiteen tarkkuudella paikannus ei onnistu, voidaan voiteluainetta sumuttaa molemmille pyörille liikuttaessa vaihdealueella. Vauhdit ratapihalla ovat pienempiä kuin muualla rataverkolla, joten voiteluaineen linkoutuminen ei välttämättä muodostu samalla tavalla ongelmaksi kuin kovemmissa vauhdeissa.

Ratapihoilla veturit työntävät usein vaunuja. Tällöin voitelulaitteen sumuttama voiteluaine ei voitele kuin veturin pyöriä. Toisaalta ratapihoilla on usein tiheä liikenne, ja voiteluaine jää odottamaan kiskoille seuraavaa junaa.

8 SATELLIITTIPAIKANNUSPOHJAISEN VOITELUN HYÖDYT

Satelliittipaikannukseen perustuvan laipanvoitelulaitteen hyötyjä voidaan verrata nykyisin Suomessa yleisesti käytössä oleviin aika- tai matkaperusteisiin ohjauksiin. Markkinoilla on kuitenkin olemassa monia tuotteita, joiden ohjaus perustuu kaarteiden tunnistamiseen anturin avulla. Näitä voidaankin pitää selkeimpinä kilpailijoina satelliittipaikannusohjaukselle.

8.1 Satelliitti- ja kaarreanturipohjaisen voitelun erot

Kaarreanturilla pyritään ohjaamaan laipanvoitelu tapahtumaan aina laippakontaktin tapahtuessa. Ohjauksella pyritään siis samaan kuin satelliittiohjauksella. Merkittävä ero kaarreanturiohjauksen ja satelliittiohjauksen välillä on, että kaarreanturiohjauksella ei pystytä ennakoimaan tulevaa voitelun tarvetta. Kaarreanturiohjauksessa ei myöskään tiedetä, missä tai minkälaisessa kaarteissa juna etenee. Satelliittipaikannukseen perustuva ohjaus pystyy käyttämään edukseen juuri näitä kahta eroavaisuutta.

8.1.1 Toimintaerot kaarteissa

Kaarteisiin saavutaan kovaa vauhtia. Juna etenee 200 km/h nopeudessa noin 55 metriä sekunnissa. Voitelukäsky pitää antaa ennen laippakosketuksen tapahtumista, jotta voiteluainetta ehtii kertyä laipalle riittävästi. Satelliittipaikannukseen perustuvalla ohjauksella voidaan voitelukäskyn paikka päättää kaarrekohtaisesti ottaen huomioon junan nopeus. Kaarreanturiohjauksessa voitelukäsky annetaan voitelulaitteelle, kun tietty raja-arvo kaarreanturin antamassa signaalissa ylittyy.

Kaarreanturisäädössä on vaikea löytää optimaalista säätöä kaarteisiin, koska kaarteet ovat erilaisia. Jos kaarreanturi säädetään voitelemaan vasta, kun laipat osuvat kiskoon, on voitelu aina myöhässä. Jos taas säädetään voitelukäsky tapahtumaan ennen laippakosketuksen alkua, saattaa voitelu alkaa silti liian myöhään tai aikaisin. Kaarresäde ei välttämättä edes muutu niin pieneksi, että siinä tarvittaisiin voitelua. Tällöin voitelua tapahtuu turhaan. Kaikissa tilanteissa sopivan ennakon antavaa raja-arvoa ei voi löytää. Säättämistä vaikeuttaa lisäksi junan siniliike. Junan kulkudynamiikkaan vaikuttavat muun muassa kaarresäde, pyörien kuluneisuus ja nopeus. Näiden tekijöiden huomioiminen on vaikeaa.

Kaarreanturisäädön lisäksi voidaan käyttää aika- ja matkaperusteista säätöä. Tällöin vasta jyrkässä kaarteissa, kun laipat varmasti osuvat kiskoon, lisätään voiteluaineen annostelua. Kaarreanturin myöhästymisestä aiheutuvia ongelmia korjataan tasaisin väliajoin tai -matkoin suoritettavalla voitelulla. Satelliittipaikannuksella päästään aina optimitulokseen.

8.1.2 Toimintaerot vaihteissa

Vaihteissa kaarreanturiohjaus häviää vielä selvemmin satelliittipaikannukseen perustuvalle ohjaukselle kuin kaarteissa. Kaarteissa kaarresäteen muutos alkaa usein hitaasti siirtymäkaarteessa ja ohjaukselle jää aikaa reagoida muutokseen ennen laippakosketusta. Vaihteissa kaarre alkaa nopeasti ja jyrkkänä. Kaarreanturiohjattu voitelulaite myöhästyykin tällöin selvästi voitelussa. Vaihteen kaarre on lisäksi lyhyt ja usein heti ensimmäisen kaarroksen jälkeen seuraa toinen kaarros vastakkaiseen suuntaan, kun raide kääntyy samansuuntaiseksi lähtöraiteen kanssa. Tämäkin kaarre jää voitelematta kaarreanturiohjauksella. Kaarreanturiohjauksesta ei voi täten pitää hyvänä vaihteita ajatellen.

8.1.3 Muita toimintaeroja

Paikannukseen perustuva ohjaus mahdollistaa voitelun aloituksen ja lopetuksen muutaman metrin tarkkuudella, missä tahansa radan osassa. Voitelun lopetuksella aavistuksen ennen kaarteiden loppua voidaan estää liian voiteluaineen jääminen laipalle ja täten estää sen linkoutumista junan alustaan.

Kaarreanturiin verrattuna satelliittipaikannus mahdollistaa myös kaarrekohtaisen voitelun säätämisen. Esimerkiksi kaarteissa ja vaihteissa, joissa tunnetusti on ongelmia kulumisen kanssa, voidaan käyttää suurempaa voiteluannosta. Tällaisia kaarteita voivat olla esimerkiksi kaarteet, joissa yleensä jarrutetaan tulevan vaihteen tai opastimen takia. Järjestelmää voisi myös käyttää voitelun estämiseen jollakin alueella, jos siihen olisi tarvetta esimerkiksi jonkin kiskoon kiinnitetyn anturin vuoksi.

Optimikulumisessa syntyneet säröt kuluvat pois. Paikkatieto-ohjausta voisikin mahdollisesti käyttää niin, että osa junista kulkisi kaarteissa ilman voitelua, tai kaikki voitelisivat kaarteelle sopivan määrän. Näin voisi olla mahdollista saavuttaa tilanne, jossa säröt kuluisivat pois ennen kasvamistaan. Vielä parempi olisi, jos voiteluainetta saataisiin levitettyä niin paljon, että pienentyneiden laippavoimien seurauksena säröjä ei juuri syntyisikään. Vetureiden laipanvoitelulaitteilla ei kuitenkaan todennäköisesti päästä niin hyvään voiteluun, että säröjen syntyminen voitaisiin estää.

Yksi voiteluaineen tarpeeseen vaikuttava tekijä on liikennetiheys. Jos kaikissa ohittavissa junissa on voitelulaitteet ja ne voitelevat kaarteiden jokaisella ohituksella, saattaa johonkin kaarteeseen kertyä turhan paljon voiteluainetta. Harvemmin liikennöidyillä osuuksilla taas voiteluainetta ehtii hävitä kiskolta ympäristön vaikutuksesta enemmän ennen seuraavan junan saapumista, joten rasvan tarve on suurempi. Kaarreanturilla ei pystytä säätämään tarvittavaa voiteluainemäärää kaarrekohtaisesti. Satelliittipaikannusohjaus antaa mahdollisuuden säätää voitelumäärä jossain kaarteissa pienemmäksi tai säätää osa junista ajamaan kaarteissa ilman voitelua.

Ainakin osa kaarreantureista vaatii myös säännöllistä kalibrointia ja huoltoa, joita satelliittipaikannusjärjestelmä ei samalla tavalla vaadi. Satelliittipaikannukseen perustuva ohjaus on todennäköisesti toimintavarmempi tältä osin.

8.2 Taloudelliset hyödyt

Satelliittipaikannukseen perustuvan ohjauksen vaikutusta kiskojen, vaihteiden ja pyörien kulumiseen on vaikea arvioida. Voitelun tehokkuutta ei osata vielä matemaattisesti mallintaa, koska siihen vaikuttavat niin monet tekijät (22). Voiteluaineen määrällä ja oikealle alueelle leviämällä on havaittu kuitenkin useassa tutkimuksessa olevan ratkaiseva vaikutus kiskojen kulumisnopeuteen. Esimerkiksi FAST-koeradalla tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että vähän voideltu kisko kului viisi kertaa hitaammin kuin voitelematon, ja täysin voideltu kisko kului 78 kertaa hitaammin (38). Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa kulumisnopeus oli 200 metrin päässä kiinteästä voitelulaitteesta kaksinkertainen verrattuna 50 metrin etäisyydellä voitelulaitteesta mitattuun arvoon (53). Tuloksista voi päätellä, että voiteluaineen määrällä on merkittävä vaikutus kulumiseen. Jos kiskon kulkureunalle päätyvää voiteluainemäärää voidaan siis kasvattaa, voidaan olettaa saavutettavan selkeitä hyötyjä kulumisen suhteen.

Nykyisin Suomessa käytössä oleviin aika- ja matkaperusteisiin ohjauksiin nähden voidaan paikannusperusteisella ohjauksella kasvattaa voiteluannosta siellä, missä voitelulle on tarvetta ja jättää voitelematta siellä, missä voitelua ei tarvita. Suomessa nykyään käytössä olevat menetelmät on tarkoitettu lähinnä veturin pyörien kulumisen vähentämiseen, ja koska niissä voidellaan muuallakin kuin kaarteissa aiheuttaa voiteluannostuksen kasvattaminen operaattorille ongelmia likaantumisen ja voiteluaineen kulumisen muodossa. Näin ollen aika- ja matkaperusteisilla ohjauksilla ei voida voiteluannosta kasvattaa, jotta voitelua tapahtuisi kunnolla myös taaemmillä pyöräkerroilla.

Taempien pyörien voitelu on oleellista. Kaarteiden ja vaihteiden kulumisen on havaittu kasvaneen junien pituuksien kasvaessa. Yhtenä syynä epäillään olevan se, että voitelulaitteen voiteleva vaikutus ei riitä koko junalle (17).

Satelliittipaikannukseen perustuva voitelu mahdollistaa nykyisen käsityksen mukaan voitelulaitteiden annostuksen säätämisen huomattavasti suuremmaksi kuin nykyään. Voidaan siis olettaa, että tällöin myös kiskojen ja pyörien kulumisen vähenisi selvästi. Lisääntynyt voiteluaineen määrä sekä voiteltisi pyörän ja kiskon välistä kontaktia paremmin että mahdollistaisi myös useamman taempana tulevan pyörän voitelun.

8.2.1 Hyödyt rataverkon kannalta

Rataverkon kannalta säästöä syntyisi vähentyneenä kiskojen ja vaihteiden sivukulumana, josta aiheutuu merkittäviä kuluja vuosittain. Tässä selvityksessä ei kuitenkaan löydetty euromääräisiä lukuja sivukuluman vaikutuksesta.

Satelliittipaikannusohjatulla voitelulaitteella voitaisiin voidella suuremmilla annoksilla paikoissa, joissa kuluma on merkittävää. Tämä vähentäisi tarvetta kiinteästi rataa asennettaville voitelulaitteille jyrkissä kaarteissa, joissa kulkee paljon painavaa kuormaa.

Vaihteita on paljon ja ne kärsivät usein sivukulumasta. Laipanvoitelulaitteen parannetulla ohjauksella voitaisiin vähentää tarvetta vaihteen kielten ja välikiskojen vaihtoihin sekä tarvetta vaihtaa YV54-vaihteita YV60-vaihteiksi. Satelliittipaikannus-

ohjatulla voitelulla voitaisiin pyrkiä tilanteeseen, jossa voitelu olisi niin hyvää, että säröjen kasvu jäisi vähäiseksi tai kulumisnopeus ja säröjen syventymisvauhti olisivat yhtä suuria. Näin voitaisiin vähentää kiskon hionnan tarvetta.

Laippakontaktista aiheutuvan metelin vähentymisen kautta voidaan saada säästöjä, jos sillä vältetään meluaitojen rakennustarvetta. Metelin vähentämiseen tarvitaan tosin mahdollisesti myös kiskon selän kitkan hallintaa, mutta myös siihen kykenevän laitteen ohjaus olisi mahdollista laipanvoitelulaitteen ohjaukseen kehitetyllä järjestelmällä.

8.2.2 Hyödyt operaattoreille

Operaattorit hyötyisivät satelliittipaikannusohjatusta voitelusta veturien pyörien kulumisen vähentyessä. Veturien pyörät joutuvat koville varsinkin vaihtotyössä kaarteisilla ratapihoilla. Haminan ratapihalla veturin pyörät kuluvat jopa kaksi millimetriä viikossa ja pahimmillaan sorvausväli on ollut kaksi viikkoa(101). Laipan kulumisen tulee kalliiksi, koska laipan kulumisen ollessa sorvaussyy, joudutaan kulukehältä ottamaan materiaalia pois kolminkertainen paksuus laipan kulumaan nähden, jotta saadaan raja-arvot täyttävä pyörän profiili. Voitelun lisääminen tällaisissa ongelmapaikoissa toisi operaattorille huomattavia säästöjä pienentyneiden materiaali- ja työkulujen sekä kaluston lisääntyneiden käyttötuntien ansiosta.

Tavaravaunujen pyörien laippojen pienentyneestä kulumisesta operaattorit eivät kuitenkaan juuri hyötyisi. Pieksämäen konepajalla, jossa tavaravaunujen pyörät sorvataan, pidetään kirjaa sorvaukseen johtaneista syistä. Aikavälillä 1.1.2001–1.7.2009 sorvatuista pyöristä vain noin seitsemässä prosentissa sorvaukseen johtanut syy oli laippavika (102). Laippavian syntyyn vaikuttaa todennäköisesti käyräksi muuttunut telin runko (103). Telin runko voi muuttaa muotoaan esimerkiksi suistuessaan kiskoilta. Voitelulla ei tästä syystä välttämättä voida juurikaan vaikuttaa laipan kulumiseen tavaravaunujen pyörissä. Vaikka laipanvoitelulla voitaisiin pienentää näiden seitsemään prosenttiin kuuluvien pyörien laippojen kulumista jonkin verran, on todennäköistä, että jokin muu tekijä aiheuttaisi kuitenkin osalle niistä sorvaustarpeen melko pian.

Operaattoreille aiheutuu kuluja ja haittoja myös nykyisen ohjaustavan seurauksena junien alustaan ja kylkiin lentävän voiteluaineen vuoksi. Junien kylkiä pitää pestä, jotta ne näyttävät matkustajille edustavilta. Lisäksi alustaan kertyvä voiteluaine haittaa huoltotöitä ja tuhoaa kumiosia. Satelliittipaikannukseen perustuva ohjaus vähentäisi väärin paikkoihin joutuvan voiteluaineen määrää ja säästäisi tästä syystä pesusta johtuvia kuluja. Junan alustaan suihkuava voiteluaine aiheuttaa myös hiekoitussuuttimien jäätymistä talvisin, joten uudesta ohjaustavasta olisi hyötyä myös turvallisuuden ja ympäristöön vähenemisen kannalta.

Nykyisten Suomessa käytössä olevien ohjausjärjestelmien aiheuttamaa turhaa voiteluaineen kulutusta verrattuna satelliittipaikannusohjattuun voiteluun voidaan arvioida tutkimalla, kuinka suuren osan Suomen rataverkosta kaarteet muodostavat. Tulos ei ole aivan tarkka, koska siinä ei oteta huomioon, että suoralla rataosuudella suihkutetusta voiteluaineestakin osa jää laipalle odottaen seuraavaa kaarretta. Lisäksi myös vaihteissa tarvitaan voitelua, mitä tällaisessa laskelmassa ei oteta huomioon.

Suomen rataverkon kaarteisuudesta ei löydy tilastoa, mutta vaakageometriatiedoista pystyy laskemaan kaarteiden osuutta jollakin välillä. Laskeminen on työlästä, joten tässä tutkimuksessa on laskettu suuruusluokan hahmottamiseksi kaarteiden osuutta kokonaispituuteen vain lyhyeltä osuudelta. Laskelma on tehty kaarteiseksi tiedetyltä Helsinki–Turku-radalta ratakilometrien 39 ja 198 väliltä. Tulos on vain suuntaa antava.

Alue	pituus kilometreinä	osuus prosentteina
Koko väli	154,3	100
ympyräkaari < 1000m	7,3	4,8
ympyräkaari < 1000m + siirtymäkaaret	15,0	9,7

8.2.3 Hyödyt ympäristön kannalta

Ympäristön kannalta hyötyjä tulee pienentyneen energian ja voiteluaineen kulutuksen kautta. Vaikka nykyiset voiteluaineet ovat suurelta osin biohajoavia, ei niitä siltikään ole tarkoitettu luontoon.

Laipanvoitelulaitteella saavutettavat energian säästömahdollisuudet eivät ole Suomen olosuhteissa läheskään yhtä suuret kuin maissa, joissa ratageometria on kaarteisempi tai käytettävät telit ovat venäläisen standardin mukaisia. Silti laipanvoitelu säästää energiaa Suomessakin jonkin verran. Ratapihoilla liikuttaessa ja suuria kuormia vedettäessä voisivat suuremmat voiteluaineen annoskoot vähentää junan kulkuvastusta verrattuna nykytilanteeseen. Prosentuaalisia energian säästömahdollisuuksia ei kuitenkaan kirjallisuuden perusteella pysty arvioimaan. Karkeasti arvioiden voisi vaikutus parhaimmillaan olla muutaman prosentin luokkaa.

8.2.4 Muita mahdollisia hyötyjä

Voitelulaitteen paikannusjärjestelmästä voisi olla hyötyä myös muissa sovelluksissa. Samalla järjestelmällä voisi ohjata esimerkiksi kiskon selän kitkanhallintaan käytettyä voitelulaitetta. Järjestelmä mahdollistaisi myös tarvittaessa hiekoituksen estämisen alueella, jossa sen käyttö ei ole suotavaa. Laipanvoitelukin voitaisiin säätää siten, että se ei toimisi alueella, jossa on arkoja antureita lähellä kiskoa.

Englannissa on käytössä järjestelmä, jossa syksyisin veturin hiekoituslaitetta ohjataan hiekoittamaan ongelma-alueilla. Ongelma-alueet on tallennettu tietokantaan ja satelliittipaikannusta hyödyntäen tiedetään, missä pitää hiekoittaa (72). Laipanvoitelulaitteen ohjaukseen tarvittavaa paikannusjärjestelmää voisi käyttää samaan tarkoitukseen.

9 JATKOSELVITYKSET

Selvityksessä ei löytynyt kirjallisuudesta vastauksia kaikkiin oleellisiin kysymyksiin, joita satelliittipaikannusohjauksen kehittämiseksi tarvittaisiin. Näiden asioiden selvittämiseksi olisi suoritettava käytännön kokeita. Selvityksessä huomattiin myös tarvetta mahdollisiin lisäselvityksiin paikannukseen ja voitelun seurantaan liittyen.

9.1 Voiteluaineen käyttäytyminen

Nykyisin käytössä olevien, voiteluainetta sumuttavien laipanvoitelulaitteiden ohjauksen kehittämiseksi olisi tiedettävä, kuinka paljon laipalle voi sumuttaa voiteluainetta ennen laippakontaktia ilman, että se linkoutuu laipalta junan alustaan ja kylkiin. Asiaa voisi tutkia laboratoriossa koejärjestelyllä. Voiteluaineen linkoutumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat ainakin seuraavat:

- aika, jonka voiteluaine on laipalla ennen laippakontaktia
- pyörän kehänopeus
- ilman, pyörän ja rasvan lämpötila
- laipan pinnankarheus
- sumutettavan voiteluaineen viskositeetti/jäykkyys, määrä ja pisarakoko

Tärkeää olisi myös tietää, paljonko voiteluainetta voi laipalle sumuttaa ilman, että voiteluaine alkaa kulkeutua kiskon selälle. Asian selvittämiseksi pitäisi tehdä käytännön kokeita rautatieympäristössä. Tuloksia tarvittaisiin voitelulaitteen valintaan ja lähtöarvoiksi ennen tarkempaa säätöä. Tästä syystä koejärjestelyn ei tarvitsisi olla täydellinen. Tarkempi säätö voitaisiin tehdä käytännön kokemuksien pohjalta, kun ensimmäinen laite olisi asennettu testikäyttöön.

Saman testin yhteydessä saataisiin tutkittua, kuinka monelle pyöräkerralle yhden laipanvoitelulaitteen sumuttama voiteluaine maksimissaan riittää. Tämä on oleellinen kysymys arvioitaessa satelliittipaikannusohjatun laipanvoitelulaitteen taloudellista kannattavuutta ja verrattaessa sitä kiinteästi raiteeseen asennettuihin voitelulaitteisiin.

9.2 Kitkan seuranta

Selvityksessä kävi ilmi, että useissa maissa on havaittu järkeväksi kehittää voitelua systemaattisesti, koska sillä saavutettavat edut ovat osoittautuneet huomattaviksi. Suomessakin tulisi harkita, olisiko järjestelmällinen lähestyminen voiteluun ja kitkan seurantaan tarpeen. Kitkanseurannassa oleellista ei ole vain pyrkimys pienentyneeseen kiskon sivukulumaan, vaan huomioon pitäisi ottaa myös kiskon selän kitkakertoimen vaikutus sisäkaarten kiskon kulumaan.

9.3 Paikannus

Satelliittipaikannuksen tarve tulee oletettavasti lisääntymään junissa tulevaisuudessa. Useamman satelliittipaikannusjärjestelmän asentaminen samaan junaan ei ole taloudellisesti järkevää. Kuluja ei synny pelkästään laitteistojen hankintahinnasta, vaan myös tilantarve sekä huolto ja asennuskulut on otettava huomioon.

Tarvetta juniin asennettaville satelliittipaikannusjärjestelmille saattaa esiintyä sekä Liikenneviraston että operaattoreiden tahoilta. Olisikin järkevää selvittää nykyiset paikannustarpeet ja arvioida mahdollisia tulevia tarpeita. Näiden pohjalta voisi tutkia, olisiko järkevää kehittää Suomen rautateille tarkkaan paikannukseen pystyvä järjestelmä tai löytyisikö sellainen valmiiksi järkevään hintaan kaupalliselta puolelta. Myös eurooppalaisen junakulunvalvontajärjestelmän kehityksen sivutuotteena saattaa syntyä standardi rautateiden satelliittipaikannusjärjestelmälle. Tulevaisuudessa eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä Galileo saattaa lisäksi tarjota parannuksia paikannustarkkuuteen.

Mikäli Suomessa päätetään alkaa kehittää omaa paikannusjärjestelmää, olisi tutkittava mahdollisuutta, jossa Liikennevirasto omistaisi ohjelmiston lähdekoodin. Näin riski päätyä tilanteeseen, jossa yksittäinen yritys pääsee sanelemaan ehtonsa, vähentyisi huomattavasti.

Sekä paikannusjärjestelmän toimintaa, että voitelun oikeaa ajoittamista helpottaisi, jos tietoliikenneyhteydellä olisi saatavissa vaihteiden asennot. Paikannusjärjestelmä pystyisi tällöin vaihteiden asennon perusteella päättämään, millä raiteella juna kulkee vaihteen jälkeen.

10 YHTEENVETO

Laippakontaktin voitelulla on lukuisissa tutkimuksissa todettu saavutettavan huomattavaa kiskon sivun ja pyörän laipan kulumisen vähentymistä. Yhteys kulumisnopeuden ja voiteluaineen määrän välillä on selkeä.

Voiteluaineen levittämiseen voidaan käyttää kolmea erilaista menetelmää: kiinteästi kiskoon asennettua voitelulaitetta, kalustoon asennettua laipanvoitelulaitetta tai erillistä voiteluajoneuvoa. Kiinteästi kiskoon asennetun voitelulaitteen merkittävin hyöty on, että voiteluainetta saadaan levitettyä runsaasti, ja voitelulaitteet toimivat automaattisesti. Voiteluajoneuvon hyviä puolia ovat, että voiteluaine saadaan levitettyä luotettavasti ja tasaisesti koko kaarteiden matkalle sekä se, että yhtä voiteluajoneuvoa voidaan käyttää laajalla alueella. Kiinteiden voitelulaitteiden huono puoli on, että ne pitää käydä huoltamassa paikan päällä, niitä tarvitaan radalla paljon ja niiden syöttämä voiteluaine ei aina kulkeudu tasaisesti koko kaarteelle. Voiteluajoneuvon huonona puolena taas voidaan pitää suurta työvoiman tarvetta sekä voitelun harvaa vuoroväliä.

Laipanvoitelulaitteella ei ole pystytty kilpailemaan kiinteästi asennettujen voitelulaitteiden ja voiteluajoneuvojen kanssa voitelutuloksen laadussa. Tämä on johtunut pienistä voiteluaineannoksista, jotka puolestaan johtuvat perinteisistä ohjaustavoista. Sijaintiin perustuva laipanvoitelulaitteen ohjaus mahdollistaa sen, että voitelu suoritetaan vain niillä alueilla, joilla sille on tarvetta. Tällöin voidaan todennäköisesti käyttää suurempia voiteluaineannostuksia ja saavuttaa parempi lopputulos voitelun kannalta. Sijaintiin perustuva laipanvoitelulaitteen ohjaus yhdistää kiinteiden voitelulaitteiden ja voiteluajoneuvojen hyviä puolia: voitelu tapahtuu automaattisesti, voiteluainemäärät voivat olla isoja, voiteluaine saadaan levitettyä tasaisesti koko kaarteelle, voitelua voidaan suorittaa aina, kun juna on kaarteissa ja voitelulaitteet voidaan huoltaa varikolla.

Sijaintiin perustuvaa laipanvoitelulaitteen ohjausta varten tarvitaan paikannusmenetelmä sekä paikkatietoaineisto, josta selviävät alueet, joilla voitelua tarvitaan. Rautatieympäristössä voidaan paikantaa halutut kohteet usealla tavalla. Satelliittipaikannus on yksi selkeimmistä ja tunnetuimmista paikannusmenetelmistä ja on tästä syystä hyvä valinta myös laipanvoitelulaitteen ohjaukseen.

Satelliittipaikannuksen tarkkuusvaatimus laipanvoitelulaitteen ohjauksen kannalta riippuu siitä, kuinka suuria hyötyjä ohjauksella haetaan. Halvempi ratkaisu on käyttää edullista absoluuttista satelliittipaikannusta, jolla ei voida erottaa vierekkäisiä raiteita toisistaan. Tällaista paikannusta käyttämällä voidaan ohjata voitelulaitetta tarkasti kaarteissa, koska vierekkäisten raiteiden kaarresäteet ja kaarteiden alkukohdat ovat hyvin lähellä toisiaan. Epätarkankin paikannuksen avulla voidaan vähentää kaarteiden kulumaa ja voiteluaineen linkoutumisesta aiheutuvia haittoja.

Tarkemmasta raiteen tarkkuudella tapahtuvasta paikannuksesta on hyötyä varsinkin vaihteiden voitelun kannalta. Jos paikannus ei tapahdu raiteen tarkkuudella, tapahtuu voitelua usein turhaan vaihteiden kohdalla. Tällöin niiden kohdalla ei voida käyttää yhtä suurta voiteluannosta kuin tarkempaa paikannusta käytettäessä. Tarkempaan paikannustarkkuuteen pääsemiseksi pitää kuitenkin käyttää kalliimpia satelliittipaikantimia, jotka osaavat käyttää korjaustietoa hyväkseen sekä muita antureita,

joilla pystytään seuraamaan junan etenemistä silloinkin, kun paikannussignaali on heikkolaatuista.

Paikkatietoaineistoa laipanvoitelulaitteen ohjaukseen ei ole suoraan olemassa. Aineistoja, joista muokkaamalla sopivan aineiston valmistaminen on mahdollista, kuitenkin löytyy. Jos todetaan epätarkemman paikannuksen olevan sopivampi ratkaisu, voidaan käyttää Liikenneviraston rataverkkoaineistoa paikkatietoaineiston pohjana. Tarkempaan voitelulaitteen ohjaukseen pyrittäessä on Oy VR-Rata Ab:n Radantarkastuspalveluiden keräämä aineisto hyvä pohja paikkatietoaineistolle.

Selvityksessä ei löydetty merkittäviä sijaintiin perustuvan laipanvoitelulaitteen ohjauksen aiheuttamia turvallisuusvaikutuksia. Suurentuneet voiteluainemäärät voivat pahimmillaan aiheuttaa voiteluaineen nousemisen kiskon selälle, jolloin jarrutukset ja kiihdytykset vaikeutuvat. Tilanne ei kuitenkaan pahimmillaankaan eroa lehtikelien aiheuttamista ongelmista. Lisäksi voiteluainemäärät säädetään sellaisiksi, että voiteluaine ei nouse kiskon selälle. Venäläisen standardin mukaisen kaluston kohdalla runsaan laipanvoitelun on havaittu lisäävän suistumisriskiä, mutta suistumiseen vaaditaan lisäksi monien muidenkin tekijöiden vaikutusta. Laipanvoitelulaitteella on yleisesti suistumisriskiä vähentävä vaikutus, koska laippa ei pääse pienentyneen kitkan johdosta kiipeämään yhtä helposti kiskon päälle.

Laipanvoitelulaitteen ohjausjärjestelmää sekä paikkatietoaineistoa voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti käyttää useissa muissakin käyttötarkoituksissa. Varsinkin kiskon selän kitkanhallinta on sovellus, jota tulisi tutkia kiskojen kulumisen ja melun vähentämisen kannalta. Kaarteissa kitkanhallintaa suorittavan laitteen ohjaukseen voisi käyttää pienin lisäyksin samaa ohjausjärjestelmää kuin laipanvoitelulaitteen ohjaamiseen. Muut mahdolliset käyttötarpeet tulisikin ottaa huomioon ohjausjärjestelmää suunniteltaessa.

Selvityksessä ei löydetty vastausta kaikkiin keskeisiin kysymyksiin. Tarkempia tutkimuksia vaadittaisiin ainakin voiteluaineen käyttäytymisen kohdalla. Pitäisi selvittää, kuinka paljon voiteluainetta voi laipalle kaarteessa sumuttaa ilman, että se kulkeutuu kiskon selälle, ja kuinka monelle pyörälle voiteluaine suurimmalla mahdollisella voiteluaineannostuksella riittää. Nämä tiedot olisivat oleellisia arvioitaessa kulumisen vähentymistä. Myös voiteluaineen linkoutumista laipalta voitaisiin tutkia.

LÄHDELUETTELO

1. **Ratahallintokeskus.** *Ratatekniset ohjeet (RATO), Yleiset perusteet, Osa 1.* 1995.
2. **Hölttä, Pasi.** *Rautatietekniikan Perusteet opetusmoniste Teknillisen Korkeakoulun Kurssilla Rautatietekniikka Yhd-10.141.* s.l.: Teknillinen Korkeakoulu, 2008.
3. **Evert, Anderson; Mats, Berg ja Sebastian, Stichel.** *Rail Vehicle Dynamics.* Stocholm : Railway Group KTH, 2005.
4. **Hölttä, Pasi.** Yhd-10.3503 Rautatietekniikka, luentokalvo Raide 1,TKK. [Online] [Viitattu: 19. 10 2009.] https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/yhd-10.3503/luennot/Yhd-10_3503_luentoesitys_3.pdf.
5. —. *Ratakiskojen hionta ja hionnan vaikutus junaliikenteen meluun, diplomityö.* Espoo : Teknillinen Korkeakoulu, 2009.
6. **Ratahallintokeskus.** *Ratatekniset ohjeet (RATO), Vaihteet, Osa 4.* 2000.
7. *LIMO 1 Liikkuvan kaluston yleiset tekniset määräykset.* [Online] [Viitattu: 28. syyskuu 2009.] http://www.finlex.fi/data/normit/28097-LIMO_1.pdf.
8. **VR kunnossapitopalvelut.** *Työohje, Pyöräkerta 8.12.2008, tavaraliikennekaluston kunnossapito, menettelyohje.*
9. **VR-Yhtymä Oy.** *Sr 2 Kuljettajan ohjekirja, versio 2.* 2003.
10. **Ojanperä, Kari.** *Luentokalvo, TKK, Ratateknikka, Raiteen rakenne ja komponentit, Kisko-pyörä-yhteys.* Espoo : s.n., 2007.
11. **Ratahallintokeskus.** *Vaihteiden hallintaraaportti 2008.* 2008.
12. —. *Ratatekniset ohjeet (RATO), Radan geometria, Osa 2.* 2000.
13. **Laaksonen, Tellervo.** *Helsingin metron pyörien kuluminen, sen optimointi ja seuranta, diplomityö.* Espoo : Teknillinen Korkeakoulu, 2008.
14. **Olofsson, U ja Telliskivi, T.** *Wear, plastic deformation and friction of two rail steels - a full-scale test and a laboratory study.* 2002. Vuosik. 254.
15. *Surface cracks and wear of rail: a full-scale test on a commuter train track.* **Olofsson, U. ja Nilsson, R.** 4, s.l. : Professional Engineering Publishing, 2002, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Vuosik. 216. ISSN 0954-4097.
16. **Ratahallintokeskus.** *Ratatekniset ohjeet (RATO), Radan tarkastus, Osa 13.* 2004.
17. **Ojanperä, Kari.** *Sähköposti ja haastattelu.* 24. elokuu 2009.

18. **Sécheron.** Wheel Flange Lubricator, Type Lausanne. [Online] [Viitattu: 23. syyskuu 2009.] http://www.secheron.com/data/classes/produit/Brochure_WFL_TypL_HSBA601156_EN_95.pdf
19. *Le nouveau graisseur de rails de la S.N.C.F. Revue Générale des Chemins de Fer.* Mai, Paris : Dunod editeur, 1951.
20. *Usure des rails et des boudins de roues dans les courbes. Revue Générale des Chemins de Fer.* Mai, Paris : Dunod editeur, 1960.
21. **Waara, Patric.** *Lubricants Influence on Wear in Sharp Rail Curves, Doctoral Thesis.* Luleå : Luleå University of Technology, Department of Applied Physics and Mechanical Engineering, Division of Machine Elements, 2006. 2006:II, ISSN: 1402-1544, ISRN:LTU-DT--o6/oII--SE.
22. *A parametric study of the lubrication transport mechanism at the rail-wheel interface.* **Thelen, Gerhard ja Lovette, Michael.** 1-2, 1996, Wear, Vuosik. 191. ISSN 0043-1648.
23. **Iwnicki, Simon.** *Handbook of Railway Vehicle Dynamics.* s.l. : Taylor & Francis, 2006. ISBN 0-8493-3321-0.
24. *TKK:n kurssi Kon-41.3180 Tribologia.* [Online] [Viitattu: 12. 7 2009.] https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/kon-41.3180/luennot/kalvoja_4.pdf.
25. **Waara, Patric.** *Industrial Lubrication And Tribology, Lubricant influence on flange wear in sharp railroad curves.* s.l. : MCB UP Ltd, 2001. Vuosik. 53. ISSN 0036-8792.
26. **European Committee for Standardization, CEN.** Railway applications - Wheel/rail friction management - Flange lubrication EN 15427:2008. *Standard.*
27. **Salek, Edward.** *Handbook of Lubrication and Tribology, The: Theory and Practice.* s.l. : Taylor & Francis Ltd 2006, 2006. ISBN: 9780849320958.
28. **Vaittinen, Juhani.** *Haastattelu.* toukokuu, 25. toukokuu 2009.
29. FUCHS LUBRITECH GMBH, SAKSA. *VOITELURASVAT raideliikenteelle.* [Online] Mopla Oy. [Viitattu: 9. syyskuu 2009.] <http://www.mopla.fi/vrasvarl.html>.
30. *Wheel/rail damage and its relationship to track curvature.* **Kalousek, Joseph.** 7-8, 2005, Wear, Vuosik. 258. ISSN 0043-1648.
31. **Kramer, Jerome.** *Railway Track & Structures, Rail Lubrication: Multiple choice.* New York : Simmons-Boardman Publishing corp., 1995. Vuosik. 91. USPS # 860-560.
32. **Plisner, Peter.** Rail Professional. [Online] Heinäkuu 2007. [Viitattu: 16. Heinäkuu 2009.] <http://www.railpro.co.uk/issues/pdfs/jul07master.pdf>.

33. **Harris, Bob.** *Raildays-seminaari 7.5.2009.* Espoo : Kelsan Technologies corp.
34. **Nilsson, Richard.** *On wear in rolling/sliding contacts, Doctoral thesis.* Stockholm : Department of Machine Design, Royal Institute of Technology, 2005. ISSN 1400-1179.
35. *Wheel flange/ rail head wear simulation.* **Zakharov, Sergey;Komarovskiy, Igor ja Zharov, Ilya.** 18-24, 1998, Wear, Vuosik. 215. ISSN 0043-1648.
36. *Seizure and wear rate testing of wheel-rail contacts under lubricated conditions using pin-on-disc methodology.* **Sundh, Jon;Olofsson, Ulf ja Sundvall, Krister.** 9-10, 2008, Wear, Vuosik. 265. ISSN 0043-1648.
37. *Energy and wear analysis in lubricated sliding contact.* **Asuman, Alp;Erdemir, A. ja Kumar, S.** 1-2, 1996, Wear, Vuosik. 191. ISSN 0043-1648.
38. *Rail/wheel lubrication studies at FAST.* **Reiff, R. P.** 6, 1986, Lubrication Engineering, Vuosik. 42. Presented at the 40th Annual Meeting in Las Vegas, Nevada. May 6-9, 1985.
39. **Briginshaw, David.** Better lubrication cuts rail wear dramatically: a more consistent and comprehensive approach to rail lubrication on London Underground's Circle Line has dramatically reduced rail wear. *findarticles.com.* [Online] [Viitattu: 18. 08 2009.] International Railway Journal, May, 2004 by David Briginshaw . http://findarticles.com /p/articles /mi_moBQQ/is_5_44/ai_n6054144/.
40. *Rail Lubrication measurement.* **Sims, Roger D;Miller, Keith A ja Schepmann, Gilbert F Jr.** Oakbrook, IL : s.n., 1996, Railroad Conference, 1996., Proceedings of the 1996 ASME/IEEE Joint, ss. 23-33. doi: 10.1109/RRCON.1996.507956. ISBN: 0-7803-3351-9.
41. **Venkatarami, Reddy.** Modelling and Analysis of Rail Grinding & Lubrication Strategies for Controlling Rolling Contact Fatigue (RCF) and Rail Wear. *Thesis submitted for the Degree of Master of Applied Schience, School of Mechanical Medical and Manufacturing Engineering Queensland University of Technology.* [Online] toukokuu 2004. [Viitattu: 14. syyskuu 2009.] <http://eprints.qut.edu.au/15864/>.
42. *Analysis of locomotive wheel sets wearing.* **Mikaliunas, Sarumas;Lingaitis, Leonas Povilas ja Subacius, Rimantas.** 1, 3-7, Vilna : TRANSPORT, 2002, Vuosik. XVII.
43. *Tribological aspects of wheel-rail contact: a review of recent experimental research.* **Calyton, P.** 1-2, 1996, Wear, 4th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail-Wheel Systems, Vuosik. 191, ss. 170-183. ISSN 0043-1648.

44. **Sroba, P.;ym.** Canadian Pacific Railway's 100% Effective Lubrication Initiative. *Presentation for AREMA 2001 Conference & Exhibition, Chicago, Illinois, September 9-12, 2001.* [Online] [Viitattu: 14. syyskuu 2009.] http://www.arena.org/eseries/scriptcontent/custom/e_arena/library/2001_Conference_Proceedings/00009.pdf.
45. *Railway noise and the effect of top of rail liquid friction modifiers: changes in sound and vibration spectral distributions in curves.* **T, Donald;Santoro, Marco ja Kalousek, Joe.** 7-8, 2005, Wear, Vuosik. 258, ss. 1148 - 1155. ISSN 0043-1648.
46. *Effect of lubrication on Vehicle/Track Interaction.* **Ishida, Makoto ja Aoki, Fusayoshi.** 3, s.l. : Quarterly Report of RTRI, 2004, Vuosik. 45, ss. 131-135. ISSN 1880-1765, ISSN 0033-9008.
47. *Rail lubrication and its impact on the wheel/rail system.* **Fröhling, R.;Koker, J. ja Amade, M.** 2, s.l. : Professional Engineering Publishing, 2009, Journal proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Vuosik. 223, ss. 173-180. DOI 10.1243/09544097JRR218.
48. *Recent developments in coefficient of friction measurements at the rail/wheel interface.* **Harrison, H.;McCanney, T. ja Cotter, J.** 1-2, 2002, Wear, Vuosik. 253, ss. 114 - 123. DOI: 10.1016/S0043-1648(02)00090-X.
49. **Halonen, Jouko.** *Ratamestari HKL Metroliikenne, Haastattelu.* 12. lokakuu 2009.
50. *Effects of wheel-rail contact geometry on wheel set steering forces.* **Macea, Stephen;ym.** 1-2, 1996, Wear, Vuosik. 191. 4th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail-Wheel Systems.
51. **Australian rail track corporation LTD.** *Guidelines for Trackside Lubrication, RC 2411, Issue A, Revision 0, March 2006.* [Online] [Viitattu: 17. syyskuu 2009.] extranet.artc.com.au/.../rc2411_guidelines_for_trackside_lubrication.pdf.
52. **Portec Rail.** *Trackside Lubricant Applicators.* [Online] [Viitattu: 17. syyskuu 2009.] <http://www.portecrail.com/pdf/brochures/trksideBroch.pdf>.
53. *Modelling and analysis of rail maintenance cost.* **Reddy, Venkatarami;ym.** 2, 2007, International Journal of Production Economics, Vuosik. 105. ISSN 0925-5273.
54. *Smörja mobilt bättre än fästa automater.* **Waara, Patric.** 10, 1999, Rallaren.
55. 2002/735/EY Komission päätös direktiivin 96/48/EY 6 artiklan 1 kohdan mukaisesta Euroopan laajuisten suurten nopeuksien rautatiejärjestelmän liikkuvan kaluston osajärjestelmää koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä. [Online] [Viitattu: 18. syyskuu 2009.] http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/oj/2002/L_245/L_24520020912fi04020506.pdf.

56. BEKA FluiLub Spray Lubrication Systems. [Online] [Viitattu: 18. syyskuu 2009.] http://www.beka-lube.de/download/en/produkte/beka-fluilub/FluiLub_Heavyrail_1008.pdf.
57. **Beka Lubrication, Insalko Oy.** Fluilub. *Keskusvoitelu*. [Online] [Viitattu: 23. syyskuu 2009.] <http://www.keskusvoitelu.fi/fluilub.html>.
58. **SKF Lubrication systems.** *EasyRail Lubrication Solutions, Applications for railway vehicles*. 2009.
59. **REBS.** *Wheel Flange Lubrication for Rail Vehicles*. [Online] [Viitattu: 23. syyskuu 2009.] <http://www.rebs.de/english/products/spurkranzschmierung.php>.
60. **Mersalo, Jaakko.** *Tuotepäällikkö, Beka Lubrication, Insalko Oy, Sähköposti*. 2. lokakuu 2009.
61. **Edelönn, Per.** *Sales & Application Engineer, SKF lubrication, Sähköposti*. 3. elokuu 2009.
62. **Kuře, Gottfried ja Schnappenberger, Klaus.** Wheel flange lubrication for railway systems. [Online] SKF, 25. syyskuu 2008. [Viitattu: 24. syyskuu 2009.] <http://evolution.skf.com/zino.aspx?articleID=15155>.
63. First Merseyrail Trials for Intelligent Wheel Flange Lubrication System on Network Rail Track. *Ainsworth Maguire PR*. [Online] 29. helmikuu 2009. [Viitattu: 25. syyskuu 2009.] http://www.ainsmag.co.uk/rh109/4597rh1a_wheel_flange_lubrication.htm.
64. **Rowe Hankins.** <http://www.rowehankins.com/wheel-flange-lubrication.php>. *Intelligent wheel flange lubrication*. [Online] [Viitattu: 25. syyskuu 2009.] <http://www.rowehankins.com/wheel-flange-lubrication.php>.
65. **Mersalo, Jaakko.** *Tuotepäällikkö, Beka Lubrication, Insalko Oy, Haastattelu*. 2009.
66. **Hannu Lehtikoinen, Pääsuunnittelija, Suunnitteluyksikkö, Ratahallintokeskus.** *Sähköposti*. 27. toukokuu 2009.
67. **Ömer, Bernhard.** *Krümmungsbasierte Gleismessdatenverortung*.
68. —. CUBAL / NetScan. [Online] [Viitattu: 5. lokakuu 2009.] http://www.eurailtelematics.com/fileadmin/user_upload/eurailtelematics.com/Vortraege08/OEmer_engl.pdf.
69. *Monitoring of rail freight wagons in Europe with support of EUREKA projects.* **Kroca, P.** Prague : Railway Condition Monitoring, 2008 4th IET International conference on, 2008. ISSN: 0537-9989, ISBN: 978-0-86341-927-0.
70. *Position Detection System Using GPS for Carbody Tilt Control, Quarterly report of RTRI.* **Sasaki, Kimiaki.** 2, 2005, Vuosik. 46. doi: 10.2219/rtriqr.46.73.

71. Antenna-Based Control System Can Stop a Train. *GPS World*. [Online] 28. elokuu 2009. [Viitattu: 10. syyskuu 2009.] <http://www.gpsworld.com/transportation/rail/news/antenna-based-control-system-can-stop-a-train-8802>.
72. Rail Professional. [Online] heinäkuu 2007. [Viitattu: 10. syyskuu 2009.] <http://www.railpro.co.uk/issues/pdfs/jul07master.pdf>.
73. **Poutanen, Markku.** *GPS-paikanmääritys*. s.l. : Tähtitieteellinen yhdisys URSA, 1998. ISBN 951-9269-89-4.
74. **Vermeer, Martin.** Maa-6.280 GIS ja geodeettiset mittaukset. [Online] 8. syyskuu 2008. [Viitattu: 1. lokakuu 2009.] http://users.tkk.fi/mvermeer/GIS-GPS_fi.pdf.
75. **Grewal, Mohinder S.;Weill, Lawrence R. ja Andrews, Angus P.** *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, And Integration*. New Jersey : Wiley, 2007. ISBN 13 978-0-470-04190-1.
76. **Indagon Oy.** Satelliittipaikannus. [Online] [Viitattu: 1. lokakuu 2009.] <http://www.indagon.com/fi/osaaminen/fokus.php?page=4>.
77. **Maanmittauslaitos.** GPS-mittaus. [Online] [Viitattu: 1. lokakuu 2009.] <http://www.maanmittauslaitos.fi/default.asp?id=929>.
78. **kowoma.** Sources of Errors in GPS. [Online] [Viitattu: 1. lokakuu 2009.] <http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm>.
79. **Penttilä, Ilkka ja Suomela, Lauri.** GPS-datan korjausmenetelmät, projektityö, TKK. [Online] [Viitattu: 1. lokakuu 2009.] http://autsys.tkk.fi/intranet/as-0.3200/attach/S09-02/loppuraportti_nettiin20090515klo0012.pdf.
80. **Indagon Oy.** FOKUS-PALVELUN HINNASTO 2008. [Online] [Viitattu: 9. lokakuu 2009.] http://www.indagon.com/db/brochures/Fokus_hinnasto_2008_10.pdf.
81. **Tötterström, Seppo.** *Geotrim oy, Puhelin haastattelu*. syyskuu 2009.
82. **Martin Vermeer, Maa-6.280 GIS ja geodeettiset mittaukset.** [Online] [Viitattu: 24. elokuu 2009.] users.tkk.fi/mvermeer/GIS-GPS_fi.pdf.
83. **Merenkululaitos.** Radionavigaatiopalvelut. [Online] [Viitattu: 8. lokakuu 2009.] http://portal.fma.fi/portal/page/portal/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/radionavigointi/.
84. —. Merenkululaitoksen DGPS-kuuluvuuskartta. [Online] [Viitattu: 8. lokakuu 2009.] http://portal.fma.fi/portal/page/portal/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/radionavigointi/DGPS_kuuluvuus.pdf.

85. *On the Use of GPS Receivers in Railway Environments.* **Bertran, Eduard ja Delgado-penin, Jose A.** 5, 2004, Transactions on vehicular technology, Vuosik. 53.
86. *Satellite propagation path model along a railway track for GNSS applications.* **J., Marais;Lefebvre, S ja Berbineau, M.** Vehicular Technology Conference VTC2004-fall. 2004 IEEE 60th, Vuosik. 6. ISSN 1090-3038, ISBN 0-7803-8521-7.
87. *Train Locator Using Inertial Sensors and odometer.* **Ernest, Petr;Mazl, Roman ja Preucil, Libor.** 2004, 2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, University of Parma.
88. **Weckström, Mikko.** *Tekninen johtaja, Indagon Oy, Haastattelu.* 5. lokakuu 2009.
89. *A Map Matching Approach for Train Positioning, Part I: Development and Analysis.* **Saab, Semer S.** 2, 2000, IEEE Transactions on vehicular technology, Vuosik. 49.
90. **U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration.** North American Joint Positive Train Control Project. [Online] huhtikuu 2009. [Viitattu: 7. lokakuu 2009.] <http://www.fra.dot.gov/downloads/research/ord0904.pdf>.
91. **Programs, Innovations Deserving Exploratory Analysis.** Low-Cost, Precise Railroad GPS Vehicle Location System. [Online] syyskuu 2006. [Viitattu: 7. lokakuu 2009.] http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highspeedrail/hsr-52final_report.pdf.
92. **Sanastokeskus TSK, Geoinformatiikan sanasto.** [Online] [Viitattu: 24. elokuu 2009.] <http://www.tsk.fi/fi/info/GeoinformatiikanSanasto.pdf>.
93. **Julkishallinnon tietohallinnon neuvottelukunta (JUHTA).** JHS 153: ETRS89-järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa. [Online] [Viitattu: 4. syyskuu 2009.] http://www.jhs-suositukset.fi/c/document_library/get_file?folderId=37145&name=DLFE-904.pdf.
94. **Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta.** JHS 154 ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatitot ja karttalehtijako. [Online] [Viitattu: 3. lokakuu 2009.] <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS154/JHS154.pdf>.
95. **Julkisen hallinnon tiehallinnon neuvottelukunta.** JHS 154 ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatitot ja karttalehtijako. [Online] 4. syyskuu 2009. http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS154/JHS154_liite5.html.
96. **Koskinen, Kari.** *Radantarkastuspalvelut, tuotepäällikkö. Haastattelu.* Helsinki, 8. syyskuu 2009.

97. **Maanmittauslaitos, Maastotietokanta.** [Online] [Viitattu: 23. elokuu 2009.] www.maanmittauslaitos.fi/Tietoa_maasta/Digitaaliset_tuotteet/Maastotietokanta/.
98. **Maanmittauslaitos, Liikenneverkko.** [Online] [Viitattu: 23. elokuu 2009.] www.maanmittauslaitos.fi/Tietoa_maasta/Digitaaliset_tuotteet/Maastotietokanta/.
99. **Maanmittauslaitos.** Maastotietokannan tilanne 31.12.2007. [Online] [Viitattu: 23. elokuu 2009.] www.maanmittauslaitos.fi/PopUpDocuments/Maastotietokannan_tilanne_31.12.2007.
100. **Ylitarkastaja Tissari, Soile.** Sähköposti. *Rataverkkoaineistosta*. s.l. : Laina Kari Mikkonen Pöyry, 18. toukokuu 2009.
101. **Nyman, Olli-Pekka.** *Projekti insinööri, VR Engineering, Sähköposti*. 10. kesäkuu 2009.
102. **Nivunkijärvi, Matti.** Työnjohtaja, Pieksämäen konepaja, VR osakeyhtiö. *Sähköposti*. 9. syyskuu 2009.
103. **Mäntynen, Mauri.** Pyöräkertasorvaaja, Pieksämäen konepaja, VR osakeyhtiö. *Haastattelu*. 2009. kesäkuu 13.

VOITELUKALVON PAKSUUDEN MITTAAMINEN TEIPIN AVULLA

Standardista EN 15427:2008 (E) SFS

KISKOLIIKENNE. PYÖRÄN JA KISKON VÄLISEN KITKAN HALLINTA. LAIPAN VOITELU

Railway applications. Wheel/rail friction management. Flange lubrication

B.3.4 Assessing the lubrication condition of rail or wheel (adhesive tape impression)

The effectiveness of lubrication can be quantitatively assessed by using commercially available adhesive tape. When strips are repeatedly applied to the same place on either the flange of a wheel or the gauge face of a rail, a quantity of lubricating film is removed until the inspection area is free from lubricant. After each sample, the adhesive strip is affixed to white paper. Refer to Figures B.1a to B.1c.

Assessment criterion: the figures below (B.1a, B.1b and B.1c) illustrate varying degrees of lubrication film thickness, varying from very thick to thin. These shall be used to evaluate the acceptability or otherwise of the lubrication in areas A, B and C in Figure B.1d.

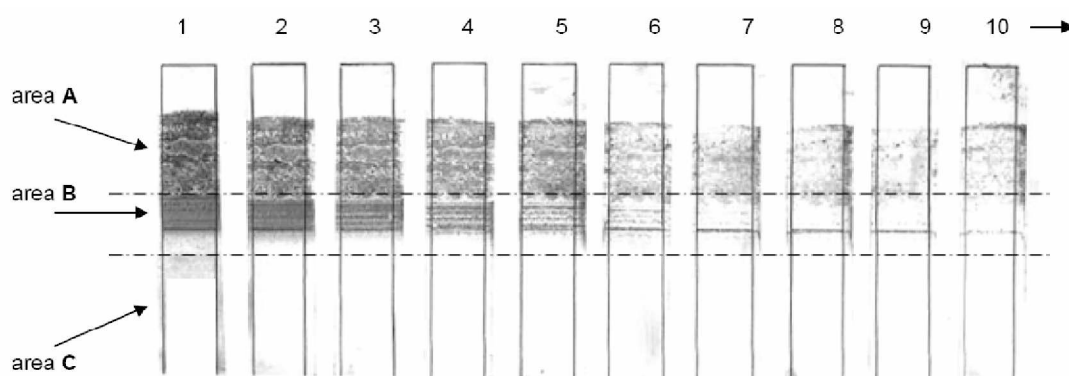


Figure B.1a – Example showing a thick film thickness

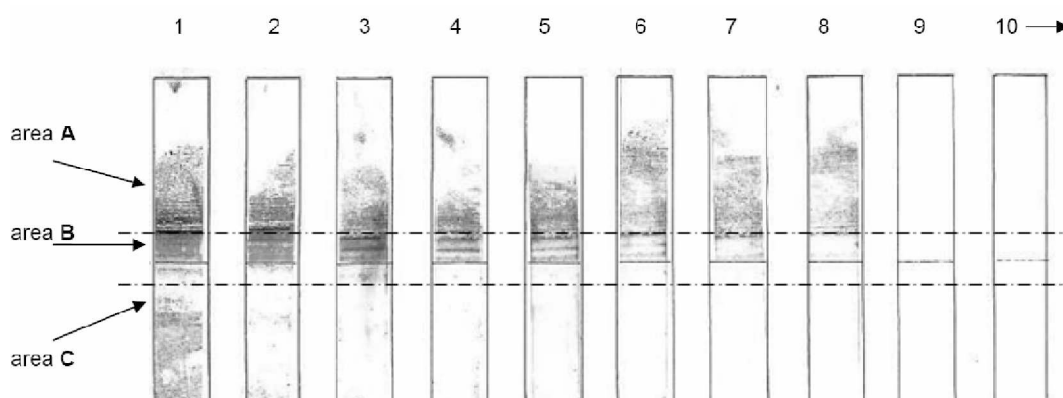


Figure B.1b - Example showing a medium film thickness

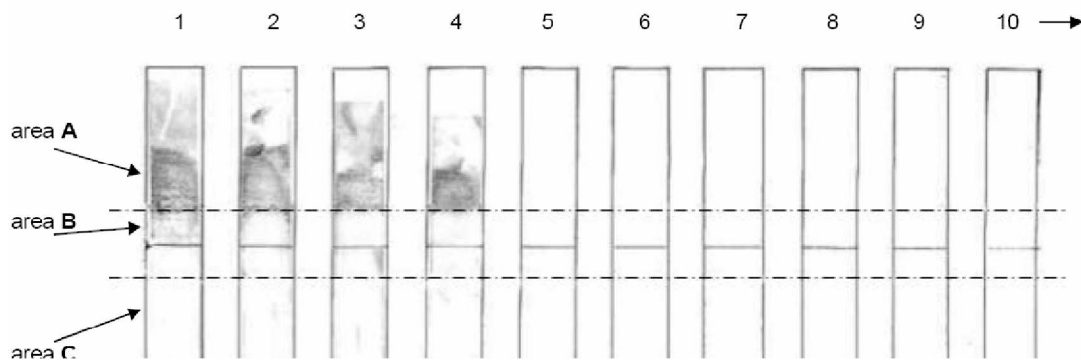


Figure B.1c — Example showing a thin film thickness

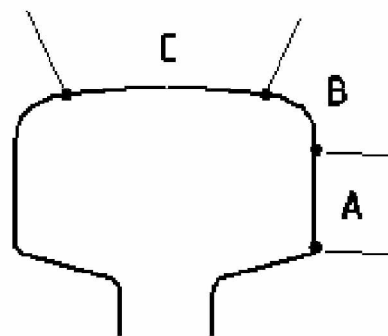


Figure B.1d — Distribution of areas around rail profiles

Figure B.1 — Assessing the lubrication condition of rail using adhesive tape impressions

When assessing the effectiveness of rail lubrication systems, this should normally be carried out at the beginning, middle and end of the curve being assessed. The expected result should be as seen in Figure B.1a at the start of the curve, as Figure B.1b at the mid-point and as Figure B.1c at the end. Where the trackside equipment protects several curves, the process can be used to assess the effective propagation of the lubricant.

A similar process can be used on wheels. Each wheel can be examined to assess the propagation between wheels. Note however that dependent upon suspension characteristics not all wheel flanges will make contact with the rail, so this will need to be taken into consideration.

Liik
enne
vira
sto

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-503-8

www.liikennevirasto.fi